

Estudo e Otimização do Sistema de Exaustão da Schaeffler Portugal

Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica, Área de especialização em Construção e Manutenção de
Equipamentos Mecânicos

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, março de 2018

Estudo e Otimização do Sistema de Exaustão da Schaeffler Portugal

Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica, Área de especialização em Construção e Manutenção de
Equipamentos Mecânicos

Autor

Diogo Filipe Pereira Madeira

Orientadores

Anabela Duarte de Carvalho

João Carlos Antunes Ferreira Mendes

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, março de 2018

Dedicatória

À minha mãe e Susana

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu especial agradecimento a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento do presente trabalho, nomeadamente:

Aos meus orientadores, Professor João Carlos Ferreira Mendes e Professora Anabela Duarte Carvalho, pelo apoio, incentivo e orientação do trabalho, bem como pela disponibilidade e atenção demonstradas e por todos os conhecimentos transmitidos que considero bastante pertinentes para o meu desenvolvimento profissional.

Igualmente presto o meu especial agradecimento à Schaeffler Portugal pela confiança que depositou na minha competência profissional, assim como aos meus colegas do departamento de manutenção, principalmente ao Engenheiro Fábio Carvalho, que forneceu todas as informações pertinentes para a realização deste projeto.

Agradeço profundamente à minha família por terem dado as condições para a realização deste trabalho, pois não seria possível sem a sua ajuda motivacional e financeira.

A todos os meus colegas e amigos pelo apoio, paciência e camaradagem demonstradas durante a realização deste trabalho, bem como durante todo o meu percurso académico.

RESUMO

O presente trabalho, realizado no âmbito da obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, área de especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos no Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, consistiu no estudo e projeto do sistema de exaustão do edifício 1 da Schaeffler Portugal.

Os objetivos principais do trabalho foram definidos em concordância com os interesses da empresa, nomeadamente comprovar o mau funcionamento do atual sistema de exaustão de névoas, que tem originado um ambiente poluído no interior da nave, assim como reduzir a faturação através do aproveitamento das névoas e racionalização energética dos equipamentos.

Deste modo, foi realizada inicialmente uma caracterização técnica do atual sistema de exaustão, em termos de tubagens, acessórios e equipamentos constituintes das torres de exaustão, e posteriormente feita a análise e avaliação da eficiência de funcionamento do sistema, com base na densidade de máquinas existentes e nas especificações técnicas consideradas.

Em concordância com os resultados, foram verificados e identificados problemas e deficiências sobre a capacidade da atual exaustão, confirmando-se efetivamente que o atual sistema tem, na sua totalidade, uma capacidade insuficiente para as condições requeridas de projeto. Deste modo, foram apresentadas soluções que permitem melhorar substancialmente a capacidade e qualidade da exaustão das máquinas existentes no edifício, através da implementação de um conjunto de novas unidades de filtração autónomas, compostas por filtros de alta eficiência de filtração e ventiladores de alta eficiência energética, e ainda a substituição de tubagens e acessórios que não cumprem as exigências requeridas. Estas soluções tiveram em conta um cenário futuro de expansão de máquinas, salvaguardando a respetiva exaustão. O controlo e gestão do novo sistema de exaustão proposto é assegurado por equipamentos, tais como variadores de velocidade de frequência dos motores elétricos e registos automáticos de secionamento em cada máquina, que permitem um funcionamento automatizado, eficiente e inteligente de todo o sistema, tendo em conta a necessidade instantânea de exaustão.

Foi ainda considerado pertinente efetuar uma análise energética ao atual sistema de exaustão, em termos da sua contribuição energética no consumo do edifício 1, e identificar, caracterizar e quantificar os desperdícios energéticos existentes. Esta análise permitiu avaliar a importância da implementação daqueles equipamentos de controlo do sistema na racionalização energética. Finalmente foi realizada uma análise económica sobre o reaproveitamento das névoas.

Palavras chave: Névoas de Óleo; Exaustão; Ventiladores; Filtragem; Tubagens.

ABSTRACT

To achieve the Master's degree in Mechanical Engineering, specialization on the Building and Maintenance of Mechanical Systems of Mechanical Department of the Superior Institute of Engineering of Coimbra, the actual project was based on the study and design of the plant 1 exhaust system of Schaeffler Portugal.

The main objectives of the work were defined in accordance with the concerns of the company, such as to prove the malfunctioning of the actual oil mist exhaust system, which has originated a polluted environment inside the plant, and reduce the costs through the reusing of the oil mists and rationalizing energy consumption.

In this way, a technical characterization of the current exhaust system was performed in terms of pipes, accessories and equipments which are part of the actual exhaust towers, and afterwards a critical analysis and evaluation of the function of the system operation was done, taking into account the density of existing machines and the technical specifications considered.

According with the results, problems and deficiencies about the capacity of the current exhaustion were verified and identified, proving that the current system has an insufficient capacity for the required design conditions. In this way, solutions have been created which are capable to improve substantially the capacity and quality of exhaustion of the existing machines in the plant. This is possible through the implementation of a set of new autonomous filtration units, composed by highly efficiency filters and highly efficiency fans, and also the replacement of pipes and accessories that don't accomplish the required specifications. These solutions cover a short-term scenario of expanding machines, safeguarding their exhaustion. The control and management of the proposed new exhaust system is ensured by equipments, such as frequency variable speed for electric motors and automatic registers for each machine, which enable the entire system to be operated automatic, efficiently and intelligently, according with the need for exhaustion.

It was also considered important to carry out an energy analysis of the current exhaust system, in terms of its energy contribution to the consumption of the plant 1, and to identify, characterize and quantify the existing energy waste. This analysis allowed to evaluate the importance of the implementation of these control equipments on the energy consumption of the new system. Finally, an economic analysis on the reusing of the oil mists was carried out.

Keywords: Oil Mist; Exhaustion; Fans; Filtration; Energy efficiency; Pipes.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE QUADROS	x
SIMBOLOGIA	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Âmbito do Trabalho	1
1.2 Enquadramento Temático	1
1.3 Objetivos e Metodologia do Trabalho	2
1.4 O Grupo SCHAEFFLER	2
2 SISTEMA DE EXAUSTÃO EXISTENTE	5
2.1 Caracterização e Especificações Técnicas	5
2.1.1 Funcionamento do Sistema	7
2.1.2 Condições e Modos de Operação	11
2.1.3 Traçados da Rede e Pontos de Exaustão	12
2.1.4 Propriedades dos Fluidos de Trabalho e das Névoas de Exaustão	16
2.1.5 Torres de Exaustão	17
2.1.6 Conduitas de Exaustão	21
2.2 Especificações Técnicas Especiais do Atual Sistema de Exaustão	22
2.2.1 Velocidades de Exaustão	22
2.2.2 Caudais de Cálculo	23
2.2.3 Perdas de Pressão	25
2.3 Avaliação do Sistema de Exaustão Existente para a Situação Atual	26
2.3.1 Tubagens de Exaustão	26
2.3.2 Capacidade do Sistema de Exaustão Existente	30
2.4 Avaliação do Sistema de Exaustão Existente para a Situação Futura	37
2.4.1 Tubagens de Exaustão	37

2.4.2	Capacidade do Sistema de Exaustão Existente.....	39
3	SOLUÇÕES PROPOSTAS	43
3.1	Implementação do Sistema de Exaustão para as Novas Células	43
3.1.1	Caraterização e Especificações Técnicas do Sistema.....	43
3.1.2	Tubagens de Exaustão	47
3.1.3	Unidade de Filtração.....	50
3.1.4	Ventilador de Exaustão.....	51
3.2	Melhoria do Sistema Atual de Exaustão nas Zonas da Montagem e Células	56
3.2.1	Tubagens de Exaustão	56
3.2.2	Unidades de Filtração	60
3.2.3	Ventiladores de Exaustão	61
3.3	Melhoria do Sistema Atual de Exaustão na Zona Central	65
3.3.1	Tubagens de Exaustão	65
3.3.2	Unidades de Filtração	68
3.3.3	Ventiladores de Exaustão	74
3.4	Renovação do Ar Interior da Nave	79
3.5	Equipamentos do Novo Sistema de Exaustão.....	80
3.5.1	Tubagens e Acessórios	80
3.5.2	Unidades de Filtração Autónomas.....	85
3.5.3	Ventiladores das Unidades Autónomas.....	90
3.5.4	Caixas de Insonorização e Acessórios.....	91
3.6	Controlo e Gestão do Funcionamento do Sistema de Exaustão	92
3.6.1	Monitorização e Manutenção do Processo	92
3.6.2	Secionamento Automático das Picagens	92
3.6.3	Variação de Velocidade dos Ventiladores.....	94
3.6.4	Interruptores de Corte	96

4	ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA DO SISTEMA DE EXAUSTÃO	97
4.1	Enquadramento	97
4.2	Análise do Consumo de Energia Elétrica	100
4.2.1	Consumo Elétrico da Fábrica	100
4.2.2	Consumo Elétrico do Sistema de Exaustão Existente	102
4.3	Medidas de Poupança de Energia Elétrica.....	103
4.3.1	Identificação e Caraterização dos Desperdícios	104
4.3.2	Poupanças Energéticas associadas aos Registos Automáticos	106
4.3.3	Poupanças Energéticas associadas aos Registos e Variadores de Velocidade .	111
4.4	Sistema de Recolha de Névoas	114
4.4.1	Sistema Atual de Retorno de Névoas	114
4.4.2	Sistema Novo de Retorno de Névoas	116
4.4.3	Poupança Económica do Novo Sistema de Recolha de Névoas	119
5	CONCLUSÃO	121
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
	ANEXOS	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Índice de Figuras do Capítulo 1

Figura 1.1-	Logotipo do Grupo Schaeffler (google)	3
-------------	---	---

Índice de Figuras do Capítulo 2

Figura 2.1-	Planta da nave do edifício 1	7
Figura 2.2-	Identificação das três zonas de operação na planta do edifício 1	8
Figura 2.3-	Circuito de exaustão de uma linha da montagem	9
Figura 2.4-	Circuito de exaustão de uma linha da zona central	9
Figura 2.5-	Circuito de exaustão de uma linha das células	10
Figura 2.6-	Torres de exaustão.....	10
Figura 2.7-	Conexão às colunas de filtração e localização da caixa ventilador e chaminé	11
Figura 2.8-	Ventilador de exaustão dentro da respetiva caixa	11
Figura 2.9-	Esquema geral do circuito atual de exaustão das três zonas de operação.....	13
Figura 2.10-	Traçado do atual circuito de exaustão da zona da montagem	14
Figura 2.11-	Traçado do atual circuito de exaustão da zona central	14
Figura 2.12-	Traçado do atual circuito de exaustão da zona das células existentes	15
Figura 2.13-	Especificações técnicas de um dos filtros usados nas colunas de filtração	18
Figura 2.14-	Chapa técnica dos ventiladores	18
Figura 2.15-	Chapa técnica dos motores elétricos dos ventiladores.....	18
Figura 2.16-	Curva pressão-caudal do ventilador ART 711/4	20
Figura 2.17-	Tabela técnica do ventilador ART 711/4 (Catálogo ventilador).....	21
Figura 2.18-	Esquema do sistema atual de filtração das torres de exaustão	31
Figura 2.19-	Ponto teórico de funcionamento da torre de exaustão 4	33
Figura 2.20-	Medidor de velocidade com cabo extensível com sensor.....	34
Figura 2.21-	Ponto de inserção do cabo com sensor de velocidade nas tomadas de ar das chaminés.....	34
Figura 2.22-	Pontos de funcionamento reais dos ventiladores das torres de exaustão	36
Figura 2.23-	Identificação dos pontos de funcionamento possíveis dos ventiladores das torres para a exaustão da zona central	41

Índice de Figuras do Capítulo 3

Figura 3.1-	Identificação da zona de expansão das novas células.....	44
Figura 3.2-	Identificação da disposição das novas células e respetiva localização das máquinas	45
Figura 3.3-	Esquema do traçado de exaustão das novas células	48
Figura 3.4-	Esquema simplificado do sistema de exaustão para as novas células	49
Figura 3.5-	Esquema do novo sistema de exaustão e filtração para o conjunto das novas células	50
Figura 3.6-	Diâmetro de entrada para um ventilador F40-R400 e R450.....	53
Figura 3.7-	Curva caraterística e ponto de funcionamento do ventilador F40 R450.....	54
Figura 3.8-	Curva caraterística e ponto de funcionamento do ventilador F40 R400.....	55
Figura 3.9-	Novo sistema de exaustão e filtração da zona da montagem.....	58
Figura 3.10-	Esquema de exaustão para o conjunto das células existentes.....	60
Figura 3.11-	Diâmetro de entrada para um ventilador F40-R355	62
Figura 3.12-	Diâmetro de entrada para um ventilador F56-R500	62
Figura 3.13-	Curva caraterística e ponto de funcionamento do ventilador F40 R355.....	63
Figura 3.14-	Curva caraterística e ponto de funcionamento do ventilador F56 R500.....	64
Figura 3.15-	Planta das novas tubagens das condutas circulares da zona central	68
Figura 3.16-	Atual distribuição das condutas retangulares da zona central e ligação às torres de exaustão	70
Figura 3.17-	Novo esquema para alteração do sistema de exaustão da zona central	71
Figura 3.18-	Identificação dos pontos de funcionamento da alteração das ligações das torres de exaustão	72
Figura 3.19-	Esquema do novo sistema de exaustão e filtração da zona central.....	73
Figura 3.20-	Diâmetro de entrada para um ventilador F40-R560 e F40 R560.....	76
Figura 3.21-	Curva caraterística e ponto de funcionamento do ventilador F56 R560.....	77
Figura 3.22-	Curva caraterística e ponto de funcionamento do ventilador F40 R560.....	78
Figura 3.23-	Condutas QFS Nordfab (QFS Oil Mist & Cutting Fluid).....	80
Figura 3.24-	Condutas QF (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)	81
Figura 3.25-	Condutas QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid).....	82
Figura 3.26-	Processo de ajuste do traçado das tubagens QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid).....	82
Figura 3.27-	Braçadeira e junta de vedação (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)	82
Figura 3.28-	Cinta de fixação KVDA (QFS Oil Mist & Cutting Fluid).....	82
Figura 3.29-	Pernas de Suporte KVDD (QFS Oil Mist & Cutting Fluid).....	83

Figura 3.30-	Cinta de suspensão QF (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)	83
Figura 3.31-	Curvas QFS contínuas e segmentadas, respetivamente (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)	83
Figura 3.32-	Bloco com ramo de derivação QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)	83
Figura 3.33-	Bloco com ramo duplo de derivação QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)	84
Figura 3.34-	Tê QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid).....	84
Figura 3.35-	Cone de redução QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)	84
Figura 3.36-	Transição retangular-circular (QFS Oil Mist & Cutting Fluid).....	84
Figura 3.37-	Tampa cega (QFS Oil Mist & Cutting Fluid).....	85
Figura 3.38-	Adaptador para flange e mangueira, respetivamente (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)	85
Figura 3.39-	Mangueira de poliuretano e braçadeira, respetivamente (QFS Oil Mist & Cutting Fluid).....	85
Figura 3.40-	Ilustração do processo de drenagem nas unidades “Filtac FibreDrain” (Nederman Filtac Oil Mist Filters For Continuous Operation).....	86
Figura 3.41-	Unidades OMF para aplicações de névoas de exaustão por emulsão (Nederman Filtac Oil Mist Filters For Continuous Operation).....	87
Figura 3.42-	Unidades OSF para aplicações de fumos de exaustão por óleos corte inteiro (Nederman Filtac Oil Mist Filters For Continuous Operation)	87
Figura 3.43-	Unidades Standard da Nederman (Filtac Air Solutions)	88
Figura 3.44-	Unidades por módulos da Nederman (Filtac Air Solutions)	88
Figura 3.45-	Pré-filtragem das unidades (Filtac Air Solutions)	89
Figura 3.46-	Filtros HEPA (Filtac Air Solutions)	89
Figura 3.47-	Hélice do tipo R (Catálogo de Produtos Nederman)	90
Figura 3.48-	Tipo de acionamento D04 (Catálogo de Produtos Nederman)	90
Figura 3.49-	Posição de saída do ar (Catálogo de Produtos Nederman)	91
Figura 3.50-	Caixa de controlo e registo elétrico de seccionamento (User Manual of Motor Damper)	93
Figura 3.51-	Esquema do controlo de funcionamento do ventilador (Catálogo de Produtos Nederman)	94
Figura 3.52-	Esquema de ligação entre o variador de velocidade e transdutor de pressão (Catálogo de Produtos Nederman)	94
Figura 3.53-	Variação dos parâmetros de funcionamento do ventilador em função da frequência (Accessories Control Equipment – Fan Inverter Installation and Service)	95

Índice de Figuras do Capítulo 4

Figura 4.1-	Consumos mensais elétricos dos 2 edifícios da fábrica em 2016	100
Figura 4.2-	Quadro elétrico de uma das torres de exaustão	102

Figura 4.3-	Identificação dos pontos de funcionamento dos ventiladores após redução de caudal	109
Figura 4.4-	Parábola dos pontos equivalentes	112
Figura 4.5-	Localização da cuba de recolha das névoas na cave das centrais	115
Figura 4.6-	Traçado do circuito de retorno de névoas da montagem para o tanque sujo da central de EXXS 117	
Figura 4.7-	Esquema de todo o traçado do retorno das névoas das três zonas de operação	118
Figura 4.8-	Traçado do circuito de retorno de névoas da zona central e células para o tanque sujo da central de retificação 118	

ÍNDICE DE QUADROS

Índice de Quadros do Capítulo 2

Quadro 2.1-	Caraterização das zonas de operação e respetivas máquinas.....	8
Quadro 2.2-	Número de máquinas existentes nas zonas de operação ligadas ao atual sistema de exaustão ...	12
Quadro 2.3-	Correlação entre as condutas das linhas da zona central e as torres de exaustão	15
Quadro 2.4-	Caraterísticas dos fluidos de trabalho e respetivos vapores de exaustão	16
Quadro 2.5-	Proporção dos fluidos das máquinas necessitadas de exaustão nas zonas de operação.....	16
Quadro 2.6-	Propriedades termofísicas do ar a 40°C.....	17
Quadro 2.7-	Caraterísticas dos equipamentos pertencentes ao sistema de exaustão	17
Quadro 2.8-	Caraterísticas dos filtros das colunas de filtração das torres de exaustão.....	17
Quadro 2.9-	Cálculo da potência instalada do motor elétrico.....	19
Quadro 2.10-	Caraterização do ponto de rendimento máximo do ventilador	20
Quadro 2.11-	Caudais tipo de exaustão das máquinas das três zonas de operação	23
Quadro 2.12-	Caudais de cálculo de exaustão das máquinas da área central	23
Quadro 2.13-	Caudais de cálculo de exaustão das máquinas da área da montagem.....	24
Quadro 2.14-	Caudais de cálculo de exaustão das máquinas da área das células existentes	24
Quadro 2.15-	Número total de máquinas e respetivos caudais de cálculo de exaustão para as três zonas	24
Quadro 2.16-	Verificação das atuais tubagens individuais das máquinas da zona central	27
Quadro 2.17-	Verificação das atuais tubagens individuais das máquinas da zona da montagem.....	27
Quadro 2.18-	Verificação das atuais tubagens individuais das máquinas da zona das células existentes	27
Quadro 2.19-	Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona da montagem da linha 1 à linha 7	28
Quadro 2.20-	Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona da montagem da linha 8 à linha 11	28
Quadro 2.21-	Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona montagem da linha 12 à linha 15	28
Quadro 2.22-	Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona montagem da linha 16 à linha 17	28
Quadro 2.23-	Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona das células existentes	28
Quadro 2.24-	Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona central da linha 1 à linha 9 para situação atual de exaustão.....	29

Quadro 2.25-	Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona central da linha 10 à linha 18 para a situação atual de exaustão	29
Quadro 2.26-	Verificação das velocidades nas atuais condutas retangulares da zona central para a situação atual 30	
Quadro 2.27-	Caudais de cálculo de exaustão para cada linha principal de exaustão na zona central	31
Quadro 2.28-	Perdas de pressão dos circuitos mais desfavoráveis até às torres de exaustão	32
Quadro 2.29-	Caudal máximo e pressão estática máxima para cada torre de exaustão	32
Quadro 2.30-	Caraterísticas do ponto de funcionamento teórico considerado para a torre 4	33
Quadro 2.31-	Resultados das medições de velocidade nas condutas de saídas após os ventiladores das torres 35	
Quadro 2.32-	Caraterísticas dos pontos de funcionamento reais das torres de exaustão	37
Quadro 2.33-	Verificação das tubagens atuais circulares da zona central da linha 1 à linha 2/3 para a situação futura de exaustão 38	
Quadro 2.34-	Verificação das tubagens atuais circulares da zona central da linha 4/5 à linha 6/7 para a situação futura de exaustão.....	38
Quadro 2.35-	Verificação das tubagens atuais circulares da zona central da linha 8/9 à linha 10/11 para a situação futura de exaustão.....	38
Quadro 2.36-	Verificação das tubagens atuais circulares da zona central da linha 12/13 à linha 14/15 para a situação futura de exaustão.....	38
Quadro 2.37-	Verificação das tubagens atuais circulares da zona central da linha 16/17 à linha 18 para a situação futura de exaustão.....	39
Quadro 2.38-	Verificação das tubagens atuais retangulares da zona central para a situação futura	39
Quadro 2.39-	Caudais de cálculo de exaustão da zona central	40
Quadro 2.40-	Perdas de pressão dos circuitos da zona central	40
Quadro 2.41-	Caudais de cálculo e pressões estáticas dos ventiladores para a extração da zona central	40
Quadro 2.42-	Caraterísticas dos pontos de funcionamento possíveis dos ventiladores das torres para a exaustão da zona central	41

Índice de Quadros do Capítulo 3

Quadro 3.1-	Caudais tipo de exaustão das máquinas das novas células	45
Quadro 3.2-	Caudais de exaustão das máquinas das novas células	46
Quadro 3.3-	Número de máquinas e respetivos caudais de cálculo para as zonas de operação, tendo em conta a inserção das novas células	46
Quadro 3.4-	Dimensionamento das tubagens individuais de exaustão das máquinas das novas células	47

Quadro 3.5-	Dimensionamento das tubagens principais circulares da linha das células RK1/RK4	48
Quadro 3.6-	Dimensionamento das tubagens principais circulares da linha da célula RK3	48
Quadro 3.7-	Dimensionamento das tubagens principais circulares da linha da célula RK2.....	48
Quadro 3.8-	Caraterísticas das condutas principais das linhas de exaustão das novas células	49
Quadro 3.9-	Dimensionamento das tubagens de avanço para as unidades filtrantes do conjunto de células ..	50
Quadro 3.10-	Dimensionamento das unidades autónomas de filtração das novas células	51
Quadro 3.11-	Caracterização das unidades autónomas de filtração para as novas células	51
Quadro 3.12-	Perdas de pressão máximas nos novos circuitos das novas células	52
Quadro 3.13-	Pontos de funcionamento dos ventiladores para as novas células	52
Quadro 3.14-	Cálculo das pressões totais dos novos sistemas de exaustão das células novas	53
Quadro 3.15-	Caracterização dos ventiladores e motores elétricos para a exaustão das células RK1/RK4 e RK3/RK2	56
Quadro 3.16-	Substituição das tubagens da zona da montagem da linha 1 à linha 6/7	56
Quadro 3.17-	Substituição das tubagens da zona da montagem da linha 8 à linha 11	57
Quadro 3.18-	Substituição das tubagens da zona da montagem da linha 12 à linha 15	57
Quadro 3.19-	Substituição das tubagens da zona da montagem da linha 16 à linha 17	57
Quadro 3.20-	Substituição das tubagens da linha das células 1/2	57
Quadro 3.21-	Substituição das tubagens da linha das células 2/4	57
Quadro 3.22-	Dimensionamento das tubagens da linha das células 4 e RK1	57
Quadro 3.23-	Ligação das condutas transversais principais às linhas secundárias da montagem	58
Quadro 3.24-	Caraterísticas do novo circuito 1 de exaustão da zona da montagem	59
Quadro 3.25-	Caraterísticas do novo circuito 2 de exaustão da zona da montagem	59
Quadro 3.26-	Caraterização do novo sistema de exaustão da zona da montagem	59
Quadro 3.27-	Dimensionamento da tubagem única de exaustão das células 1, 2, 4 e RK1	60
Quadro 3.28-	Dimensionamento das unidades autónomas de filtração da zona da montagem e células	60
Quadro 3.29-	Caracterização das unidades autónomas de filtração para a zona da montagem e células	61
Quadro 3.30-	Perdas de pressão máximas nos novos circuitos da zona da montagem	61
Quadro 3.31-	Perdas de pressão máximas nos novos circuitos da zona das células existentes	61
Quadro 3.32-	Pontos de funcionamento dos ventiladores para a exaustão da montagem e células	62
Quadro 3.33-	Cálculo das pressões totais para os novos sistemas de exaustão da montagem e células	63
Quadro 3.34-	Caracterização dos ventiladores e motores elétricos para a exaustão da montagem e células	64

Quadro 3.35-	Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 1	65
Quadro 3.36-	Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 2/3	65
Quadro 3.37-	Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 4/5	66
Quadro 3.38-	Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 6/7	66
Quadro 3.39-	Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 8/9	66
Quadro 3.40-	Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 10/11	66
Quadro 3.41-	Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 12/13	67
Quadro 3.42-	Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 14/15	67
Quadro 3.43-	Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 16/17	67
Quadro 3.44-	Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 18	67
Quadro 3.45-	Dimensionamento das tubagens retangulares da linha 1 e 18 na zona central	68
Quadro 3.46-	Prós e contras no investimento para otimização das torres de exaustão	69
Quadro 3.47-	Caudais totais de cálculo para exaustão da zona central	70
Quadro 3.48-	Alterações às condutas retangulares e nova ligação às torres de exaustão	71
Quadro 3.49-	Caraterísticas dos pontos de funcionamento da alteração das torres de exaustão	72
Quadro 3.50-	Caraterísticas das linhas de exaustão que se ligam às unidades de filtração	74
Quadro 3.51-	Dimensionamento das unidades de filtração da zona central	74
Quadro 3.52-	Caracterização das unidades de filtração para as linhas da zona central	74
Quadro 3.53-	Perdas de pressão máximas nos novos sistemas de exaustão da zona central	75
Quadro 3.54-	Ponto de funcionamento do ventilador dos novos sistemas de exaustão	75
Quadro 3.55-	Dimensionamento dos ventiladores das unidades de filtração das linhas da zona central	75
Quadro 3.56-	Cálculo das pressões totais para os circuitos dos novos sistemas de exaustão	76
Quadro 3.57-	Caracterização dos ventiladores e motores elétricos para a exaustão das unidades 1 e 2	78
Quadro 3.58-	Caudal de extração da nave tendo em conta o novo sistema de exaustão proposto	79
Quadro 3.59-	Volume útil das zonas de operação	79
Quadro 3.60-	Caraterísticas técnicas dos ventiladores Combifab-F	90

Índice de Quadros do Capítulo 4

Quadro 4.1-	Consumo elétrico diário do edifício 1 da fábrica entre 07/08/17 e 13/08/17	101
Quadro 4.2-	Potências instaladas e consumos diários dos motores elétricos das torres de exaustão	103
Quadro 4.3-	Plano de produção das linhas das máquinas em função dos turnos	106

Quadro 4.4-	Plano de paragem das linhas de produção em função das zonas de produção e turnos.....	106
Quadro 4.5-	Dias de funcionamento e paragem das máquinas associadas aos respetivos turnos	107
Quadro 4.6-	Dias de cálculo e respetivos tempo de paragem das máquinas associadas aos respetivos turnos 107	
Quadro 4.7-	Caudal médio individual das máquinas consoante a ligação às torres de exaustão	108
Quadro 4.8-	Caudais de funcionamento das torres de exaustão após redução de caudal nos dias de paragem 108	
Quadro 4.9-	Potências consumidas dos ventiladores das torres consoante os respetivos dias de paragem ...	109
Quadro 4.10-	Potências evitadas e poupanças energéticas dos dias de paragem por registos automáticos	110
Quadro 4.11-	Poupanças energéticas e económicas mensais através de registos automáticos	111
Quadro 4.12-	Potências evitadas e poupanças energéticas dos dias de paragem por variação de velocidade .	113
Quadro 4.13-	Poupanças energéticas e económicas mensais através de variadores de velocidade	113
Quadro 4.14-	Poupanças económicas mensais das soluções de poupança energética	113
Quadro 4.15-	Relação entre o caudal de exaustão e produção de névoas.....	115
Quadro 4.16-	Consumos mensais dos fluidos de produção	115
Quadro 4.17-	Caudais de exaustão das unidades de filtração das três zonas de operação.....	119
Quadro 4.18-	Estimativa da produção de condensados de névoas com o novo sistema de exaustão	119
Quadro 4.19-	Custo poupado com o reaproveitamento dos fluidos das névoas de exaustão.....	120

SIMBOLOGIA

Abreviaturas

ARCE – Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia

CIE – Consumos Intensivos de Energia

DL – Decreto Lei

EMS – Abreviatura para o nome técnico do óleo de corte solúvel (água + óleo)

ENE – Estratégia Nacional para a Energia

EXXS – Abreviatura para o nome técnico do líquido de lavagem dos rolamentos

FAG – Marca comercial do grupo Schaeffler

FER – Fontes de Energia Renovável

HNL – Abreviatura para o nome técnico do óleo de corte inteiro para super-acabamento

INNA – Marca comercial do grupo Schaeffler

ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

LUK – Marca comercial do grupo Schaeffler

MEM – Mestrado em Engenharia Mecânica

QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão

PREn – Plano de Racionalização de Consumos de Energia

SGCIE – Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia

Tep – Toneladas Equivalente de Petróleo

UE – União Europeia

UND – Unidades

VRC – Abreviatura para o nome técnico do óleo de corte interior para retificação

Letras e símbolos

A – Área da seção da conduta (m^2)

$\cos\varphi$ – Fator de potência do motor elétrico

d – Diâmetro da tubagem (mm)

D – Diâmetro da tubagem (m)

D_1 - Diâmetros de entrada do ventilador (mm)

D_{eq} – Diâmetro equivalente da conduta (m)

d_h – Diâmetro hidráulico (mm)

g – Aceleração da gravidade (m/s^2)

H – Altura da seção retangular (m)

H_{est} – Pressão estática total (Pa)

I – Intensidade da corrente elétrica (A)

L – Largura da seção retangular (m)

N - Velocidade de rotação inicial do rotor do ventilador, tratando-se de 1440 rpm

N_1 - Velocidade de rotação final do rotor do ventilador (rpm)

N_{Rh} - Número de renovações hora (NR/h)

P - Potência consumida inicial (W)

P_1 - Potência consumida final (W)

P_{abs} – Potência absorvida pelo eixo do motor (W)

P_{din} – Pressão dinâmica na entrada do ventilador (Pa)

P_{est} – Pressão estática na entrada do ventilador (Pa)

P_{inst} – Potência consumida do motor elétrico (W)

P_u – Potência útil do ventilador (W)

P_t – Pressão total na entrada do ventilador (Pa)

P_e – Pressão estática (Pa)

Q – Caudal volumétrico do fluido (m^3/h)

Q - Caudal inicial (m^3/h)

Q_1 - Caudal final desejado (m^3/h)

Re – Número de Reynolds

V – Velocidade do fluido (m/s)

V – Volume do espaço interior da nave (m³)

U – Tensão composta (V)

η_g – Rendimento global do sistema motor/ventilador (%)

η_{\max} – Rendimento máximo do motor elétrico (%)

η_m – Rendimento do motor elétrico (%)

η_v – Rendimento do ventilador centrífugo (%)

$\frac{\Delta P}{L}$ – Perda de pressão contínua por metro linear (Pa/m)

f – Coeficiente de Darcy

ε – Rugosidade absoluta da tubagem (mm) (0.15 mm para tubagem galvanizada sem costura)

ρ – Massa volúmica do fluido (kg/m³)

ν – Viscosidade cinemática (m²/s)

μ – Viscosidade dinâmica (N.s/m²)

φ – Peso volúmico do ar (N/m³)

1 INTRODUÇÃO

1.1 Âmbito do Trabalho

No âmbito da componente não letiva “Dissertação/Projeto/Estágio”, relativa ao 2º ano do Mestrado em Engenharia Mecânica, área de especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos, o aluno propôs-se a realizar um projeto sobre uma temática envolvida no âmbito de trabalho profissional do aluno.

Desta forma, foi proposto um projeto que envolvesse o melhoramento do sistema de exaustão das máquinas de retificação e super-acabamento dos anéis e também das máquinas de lavar dos rolamentos, presentes no edifício 1 da fábrica Schaeffler Portugal. Este atual sistema de exaustão apresenta evidentes deficiências em termos de funcionamento, capacidade e eficiência, uma vez que o interior da nave, nomeadamente na área de produção, não se enquadra num ambiente limpo e saudável.

Os principais motivos na escolha desta temática basearam-se no facto do estudo e alteração do sistema de exaustão se tratar de um desafio interessante, por englobar uma rede complexa e longa com ligação a mais de 200 máquinas. Outro aspeto importante a considerar é o ambiente de trabalho da nave que contém constantemente um ar pesado e poluído, com presença de condensados de óleo nas superfícies frias, evidenciando uma possível insuficiência da capacidade do atual sistema, na qual se pretende ser comprovada com este trabalho.

Além disso, existe a possibilidade de trabalhar no campo da eficiência energética, se for necessário evoluir para a aquisição de novos equipamentos, e ainda na redução de custos através do reaproveitamento dos condensados das névoas de exaustão para o sistema de produção.

1.2 Enquadramento Temático

A proteção ambiental e segurança do trabalho é um dos princípios da gestão do grupo Schaeffler, pelo que a adesão às práticas de proteção ambiental, segurança e boas condições de trabalho representam uma contribuição importante para a empresa.

Através de medidas abrangentes de prevenção, devem proteger-se os colaboradores contra os perigos à saúde e evitar danos ao meio ambiente.

Apesar dos operadores estarem normalmente conscientes dos perigos de segurança associados ao funcionamento mecânico e elétrico da máquina, contudo não têm ideia dos riscos para a saúde associados ao uso do fluido para maquinagem de metais.

Durante qualquer tipo de maquinagem é libertado, no local fabril, uma névoa de óleo com pequenas gotículas, que fica suspensa no ar, sendo prejudicial para a saúde e bem-estar dos trabalhadores. As gotículas maiores podem ser engolidas passando pelo nariz e traqueia enquanto as gotículas menores podem depositar-se nos pulmões, causando problemas de irritações para os olhos, nariz e garganta. Além disso, esta neblina de óleo condensa em superfícies frias, causando escorrimentos e aparecimento de superfícies escorregadias.

Por todas estas razões é extremamente importante a correta captação e extração desta neblina tóxica, de forma a criar um ambiente de trabalho seguro e saudável e também prolongar a vida útil das máquinas, principalmente os seus componentes elétricos.

1.3 Objetivos e Metodologia do Trabalho

O presente projeto tem como objetivos analisar o atual sistema de exaustão e avaliar a sua capacidade de exaustão, no sentido de se perceber a possibilidade na otimização do sistema ou a necessidade em implementar um sistema com maior capacidade de exaustão.

Pretende-se ainda implementar um sistema com reaproveitamento dos condensados de óleo das névoas, melhorar a eficiência energética do sistema e implementar planos de manutenção.

Deste modo, admite-se os seguintes pontos e tópicos para a realização do trabalho, por ordem de evolução do mesmo, tendo em conta o principal objetivo do projeto:

- Analisar o atual sistema de exaustão em termos de funcionamento e avaliar a sua capacidade para o cenário atual
- Melhorar a capacidade de exaustão do edifício 1 da fábrica com vista a assegurar as condições exigidas de exaustão para cada máquina, assim como preparar o sistema de exaustão para a chegada de novas células com máquinas que acontecerá a curto prazo
- Dividir as três principais zonas de produção (células, zona central e montagem), em termos de filtração autónoma e independente, através de implementação de unidades “*stand-alone*” para reaproveitamento dos respetivos condensados
- Estudar a viabilidade na implementação de medidas de eficiência energética, em termos de aquisição de equipamentos e acessórios com melhor eficiência e racionalização dos consumos energéticos
- Elaborar as peças desenhadas finais e caderno de encargos com medições e cotação

1.4 O Grupo SCHAEFFLER

O grupo Schaeffler é um fornecedor global líder integrado do setor automóvel e industrial, representando alta qualidade, tecnologia de ponta e alto grau de inovação.

A indústria automóvel é o principal cliente do grupo Schaeffler. Como parceiro confiável de praticamente todos os fabricantes de automóveis e seus fornecedores, a divisão automóvel oferece competências em sistemas de acionamento, por exemplo, para motores, chassis, transmissões e unidades acessórias em carros comerciais e de turismo.

O grupo Schaeffler reúne o conhecimento e a experiência das marcas INA, FAG e LUK, que agrupam o que existe de mais moderno em tecnologia para a produção em larga escala, com os mais altos níveis de precisão.



Figura 1.1- Logotipo do Grupo Schaeffler (google)

Com 63 fábricas distribuídas pelo mundo, o grupo Schaeffler produz produtos de precisão, desde buchas de agulhas de 2 mm até grandes rolamentos com diâmetro externo de 4,25 metros.

A fábrica localizada nas Caldas da Rainha é a única do grupo Schaeffler em Portugal, tratando-se de uma unidade industrial, apenas destinada para a produção de rolamentos radiais de uma carreira de esferas entre 23 e 90 mm.

Atualmente apresenta uma capacidade produtiva de 500.000 rolamentos por dia com um regime de laboração contínua de 24 horas por dia, durante 7 dias por semana, à exceção de 1 dia por mês, sempre num domingo, para a realização de operações gerais de manutenção.

Esta fábrica divide-se em dois edifícios independentes, em que o segundo edifício destina-se à receção e manipulação da matéria-prima para anéis que recebem uma retificação grosseira, através de máquinas de retificação plana, com um fluido à base de emulsão. Aqui a última fase é o cuidado armazenamento dos anéis em caixas que depois são transportadas para o edifício 1.

No primeiro edifício, os anéis sofrem os processos de retificação fina, através das máquinas de retificação, com óleo de corte inteiro ou solúvel e em seguida acabamento com óleo de corte inteiro, através das máquinas de super-acabamento. De seguida, os anéis interiores e exteriores são combinados dependendo das respetivas folgas, e são introduzidas esferas e defletores por prensas para se criar o dito rolamento, que ainda tem de passar por máquinas de lavagem. Por fim, os rolamentos são embalados por máquinas automáticas e armazenados em caixas, para depois serem expedidos para a sede da Schaeffler na Alemanha.

O âmbito deste trabalho incide apenas no edifício 1, porque, ao contrário do sistema de exaustão de névoas do edifício 2, existem queixas sobre o sistema de exaustão do edifício 1 que apresenta um ambiente interior contaminado com partículas de óleo.

2 SISTEMA DE EXAUSTÃO EXISTENTE

Este capítulo consiste no estudo e avaliação da capacidade do atual sistema de exaustão, tendo em conta o atual cenário exigido, e a identificação das deficiências para se encontrar soluções.

Deste modo, numa etapa inicial do capítulo é realizada uma caracterização descritiva e técnica do atual sistema de exaustão, em termos do tipo de funcionamento e modo de operação do sistema, localização dos pontos de extração, propriedades dos fluidos e vapores de névoas, e ainda referências aos equipamentos que constituem o atual sistema de exaustão.

Numa segunda etapa é descrita as especificações técnicas especiais que traduzem os dados base de cálculo assumidos para a realização da análise crítica do sistema existente.

Numa terceira etapa é realizada uma avaliação e análise crítica da capacidade do sistema atual de exaustão, em termos de tubagens, ventiladores e filtros, atendendo à necessidade de extração das névoas das máquinas existentes, que estão ligadas ao atual sistema de exaustão.

De realçar que esta verificação, que atua com base na avaliação da capacidade do atual sistema de exaustão, é realizada para duas situações distintas, nomeadamente:

- Situação real/atual, na qual tem em conta a ligação física existente entre as três zonas de operação (torres de exaustão recebem todos os vapores das zonas), para permitir verificar se o atual sistema tem capacidade para tratar da totalidade da exaustão da nave
- Situação futura, que de acordo com os principais objetivos do presente trabalho, prevê o estudo da capacidade do atual sistema de exaustão para tratar apenas os vapores de exaustão da zona central da nave

Os desenhos ilustrados no presente capítulo encontram-se nas peças desenhadas no Anexo I.

2.1 Caracterização e Especificações Técnicas

A rede de exaustão é definida através do tipo e modo de funcionamento do sistema, características e condições de operação dos equipamentos de exaustão, traçados das condutas, localização dos acessórios e respetivas conexões e operação das máquinas de produção.

O projeto original do sistema de exaustão foi dimensionado e implementado no ano de 2007, sendo que as principais peças desenhadas do projeto inicial se encontram disponíveis no Anexo V, VI e VII.

Em termos gerais, comparando o sistema de exaustão original com o sistema atual, verifica-se efetivamente a existência de uma mudança brutal a nível “*layout*” da zona de produção da nave.

Ao longo dos anos, nomeadamente após o início da instalação do sistema de exaustão no edifício 1, se verificou um aumento das linhas de produção na zona da montagem, central e células. Este facto implicou uma constante mudança de posição das máquinas existentes e também da instalação de novas máquinas, originando a alteração do sistema de exaustão, na medida em que foi necessário adaptar as condutas originais e ainda instalar novas linhas de exaustão que foram ligadas às tubagens originais do projeto, o que provocou efetivamente uma sobrecarga progressiva no sistema original de exaustão.

Contudo, apesar dessa alteração gradual do sistema de exaustão, nunca houve estudos e projetos de alteração para avaliar tais mudanças, pelo que as alterações se basearam apenas no acréscimo de picagens (linhas individuais de exaustão das máquinas) nas condutas existentes, na extensão das linhas de exaustão da zona central para as máquinas da zona da montagem e células e no aumento do número de linhas na zona central.

Deste modo, não existia um “*layout*” do atual sistema de exaustão, pelo que as únicas informações disponíveis para este trabalho foram:

- Documentos do projeto original, tais como as peças desenhadas (apenas em formato papel e pdf), caracterização dos filtros (marca, modelo, dimensões e perdas de carga) e ventiladores (marca, modelo, caudal e pressão nominais, instalação e manutenção)
- *Layout* atualizado da planta da nave com localização de todas as máquinas do edifício
- Velocidades e caudais de extração das máquinas recomendados pelo grupo

Devido à comprovada escassez de dados do atual sistema de exaustão, houve necessidade de se realizar um levantamento de todos os pontos de extração, tendo em conta a planta atualizada da localização das máquinas, e ainda realizar as peças desenhadas desse sistema, em termos de localização e traçado das picagens e condutas, respetivamente, e localização das torres de exaustão.

Para efeitos de cálculo, admitiu-se os seguintes pressupostos:

- Diferença de nível de cota entre as picagens das máquinas, tubagens principais e as torres de exaustão, foram retiradas pelo medidor a laser “*in situ*”
- Valores de caudais e velocidades de exaustão recomendados pelo grupo Schaeffler
- Valor de perda de carga localizada consoante a densidade de instalação de acessórios (curvas, derivações, transições, registos)

2.1.1 Funcionamento do Sistema

Este sistema encontra-se inserido na nave do edifício 1 com representação na Figura 2.1 (Anexo I).

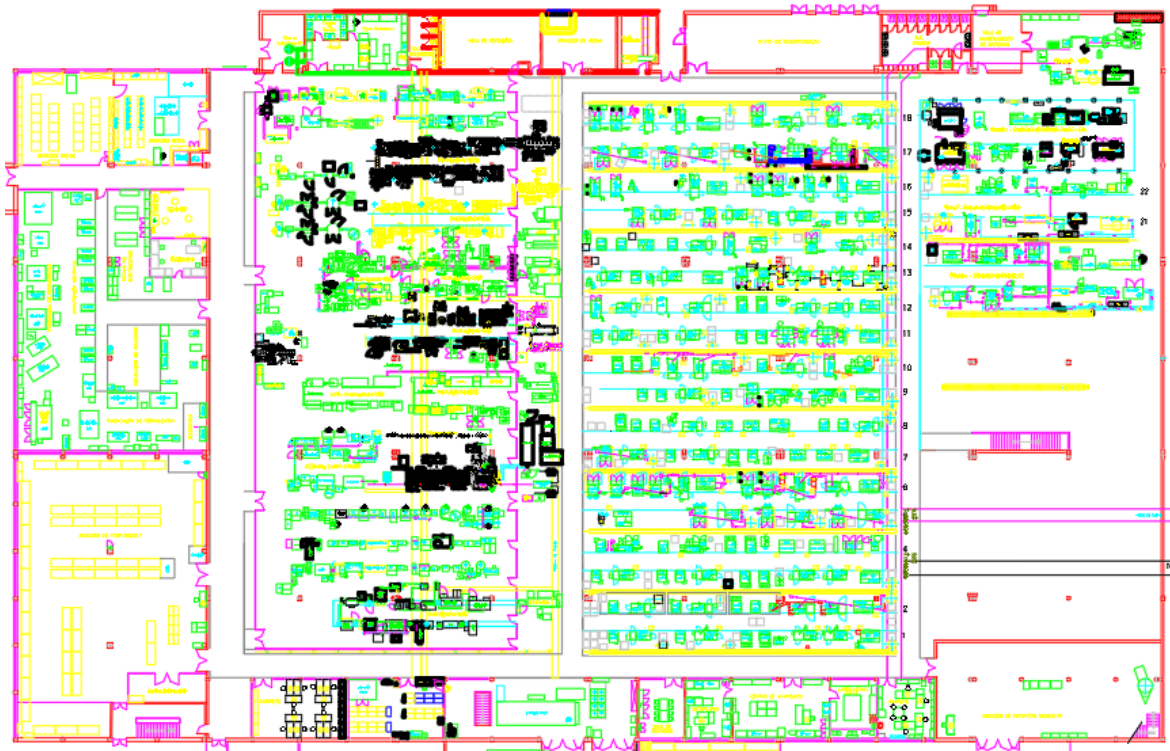


Figura 2.1- Planta da nave do edifício 1

Neste momento, em termos de produção, existem três áreas de operação de produção, nomeadamente a zona da montagem, a zona central e ainda a zona das células, encontrando-se assinaladas a verde, vermelho e azul, respetivamente, na Figura 2.2.

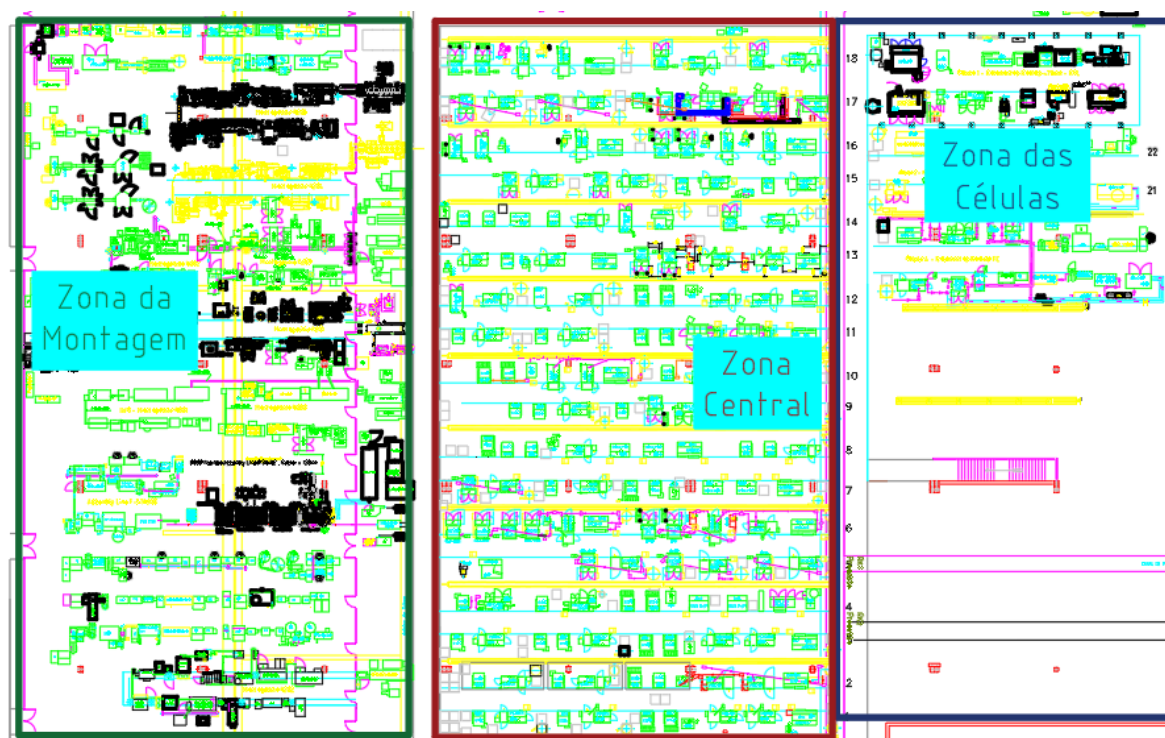


Figura 2.2- Identificação das três zonas de operação na planta do edifício 1

Em cada zona, existem uma série e variedade de máquinas, sendo que apenas uma parte delas exige extração das névoas geradas durante os processos de corte e limpeza dos materiais que são produzidos pela fábrica.

No Quadro 2.1 estão identificadas e caracterizadas as máquinas que exigem extração, consoante a respetiva zona de produção.

Quadro 2.1- Caracterização das zonas de operação e respetivas máquinas

Zona de Operação	Objetivos da Zona	Máquinas com exaustão	Tipologia das Máquinas
Zona de Montagem	Montagem, lavagem e embalagem de rolamentos	Máquinas de lavar	Lavagem de rolamentos
Zona Central	Retificação e Super-acabamento	Todas as máquinas (IFS, Novas, Thiel)	Retificação e super-acabamento dos anéis interiores e exteriores
Zona das Células	Retificação, Super-acabamento, Lavagem e Embalamento	Máquinas de retificação, acabamento e lavagem	Retificação e super-acabamento dos anéis interiores e exteriores e lavagem dos rolamentos

Este tipo de exaustão individual é conseguido através de linhas individuais e independentes de exaustão, caracterizadas por uma conduta circular, que fazem a ponte entre a abertura localizada na máquina e a conduta principal de exaustão.

Este tipo de troço individual, designado por picagem de exaustão, consiste numa mistura de dois tipos de tubagens:

- Ligações Flexíveis: mangueira de poliuretano transparente, tratando-se de um tubo leve e flexível, ideal para uma fácil ligação entre a abertura da máquina e a conduta rígida de exaustão
- Ligações Rígidas: tubagem em aço galvanizado, tratando-se de uma conduta fixa e rígida, que faz a ligação entre a tubagem flexível a conduta principal de exaustão

Em todas as zonas, as linhas individuais de exaustão das máquinas encontram-se ligadas a condutas circulares de maior diâmetro, designadas por condutas circulares principais de exaustão, que recolhem as picagens das máquinas ao longo do seu percurso.

Nas Figuras 2.3 e 2.4 estão representados esses dois tipos de condutas.

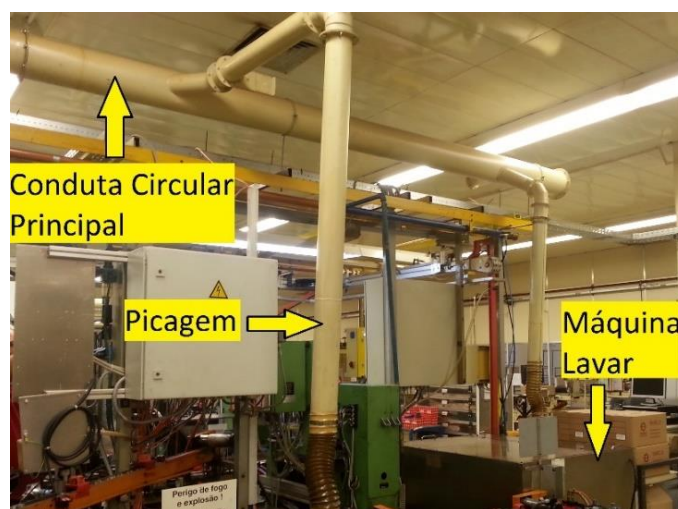


Figura 2.3- Circuito de exaustão de uma linha da montagem

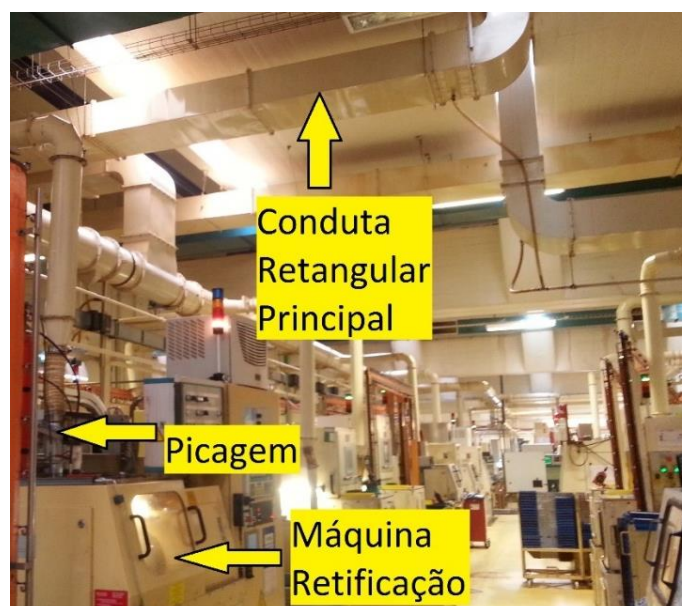


Figura 2.4- Circuito de exaustão de uma linha da zona central

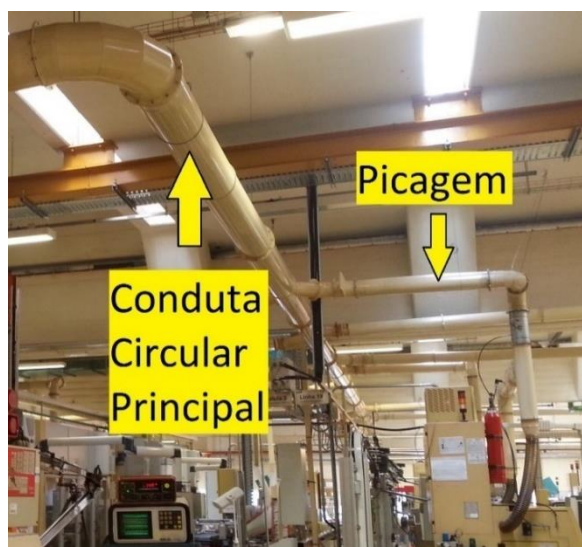


Figura 2.5- Circuito de exaustão de uma linha das células

A união entre todas as condutas circulares, que se distribuem pela zona central e zonas laterais (montagem e células), acontece no meio da zona central, onde cada ponto de conexão se liga a condutas de maior dimensão, de seção retangular. Estas condutas encaminham diretamente todos os vapores provenientes das 3 zonas, para as colunas de filtração das torres de exaustão, localizadas na cobertura. Apresentam uma seção retangular pelo motivo de terem a vantagem de poupança de espaço em termos de altura, ao contrário da seção circular. Neste momento, existem um total de 10 condutas retangulares, em que cada uma faz uma exaustão direta das névoas para a respetiva coluna de filtração da torre de exaustão.

Existem um total de 5 torres de exaustão (Figura 2.6), localizadas no topo da cobertura do edifício 1 da fábrica, sendo que cada uma apresenta duas colunas de filtração (cada coluna está ligada a uma conduta retangular). Cada coluna de filtração possui 3 estágios de filtração.



Figura 2.6- Torres de exaustão

Em cada torre de exaustão, realiza-se uma ligação conjunta ou união das duas colunas de filtração com o bloco do moto-ventilador, que faz a descarga do ar filtrado para a atmosfera através da chaminé. Esta interligação está representada na Figura 2.7.

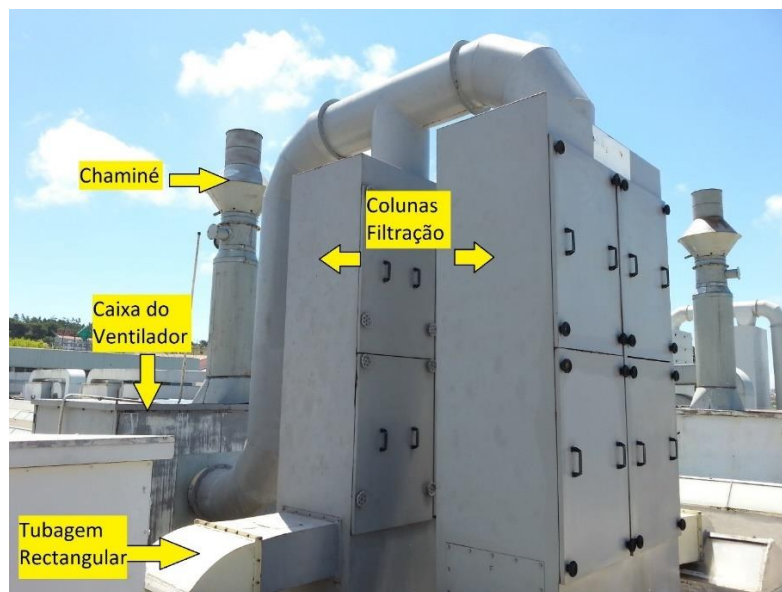


Figura 2.7- Conexão às colunas de filtração e localização da caixa ventilador e chaminé



Figura 2.8- Ventilador de exaustão dentro da respetiva caixa

2.1.2 Condições e Modos de Operação

Os diferentes tipos de fluidos são fornecidos para as máquinas para as suas respetivas funções, dependendo da zona de operação.

Nas máquinas da zona central, a pressão de fornecimento dos óleos de corte são de 4 bar (pressão relativa). Devido à velocidade de corte é gerado um vapor em cada máquina resultante da projeção de partículas líquidas. Os óleos vaporizam até 40°C, libertando partículas grandes,

pesadas e inflamáveis, pelo que é necessário extrair estes vapores diminuindo a temperatura interior da máquina.

Nas máquinas da zona da montagem, o óleo é fornecido a 1,50 bar (pressão relativa). Neste caso, a velocidade da operação é menor, não existindo projeção de partículas, mas sim evaporação natural nas bacias de retenção das máquinas de lavar. Contudo, tratam-se de partículas tóxicas, pelo que a extração também é obrigatoriamente requerida.

Na zona das células, verifica-se a existência de máquinas similares às da zona central e montagem, devido ao facto de as células serem por natureza um conjunto de máquinas que conseguem realizar todo o processo produtivo, desde a retificação inicial dos anéis internos e externos até ao embalamento dos rolamentos.

Os vapores, gerados pelas máquinas, condensam ao longo do circuito de extração, pelo que toda a rede de exaustão deve ser bem selada, sendo que o fluxo total é encaminhado diretamente para o sistema de filtração das torres de exaustão. Esta ventilação forçada é assegurada pelos atuais moto-ventiladores localizados nas torres de exaustão.

A localização da conduta principal próxima da cobertura é uma das formas de assegurar que partículas grandes condensem e retornem por gravidade. Contudo, um dos pontos que é necessário alterar é a separação física da segregação dos condensados das diferentes zonas, através da instalação de sistemas autónomas de filtração denominados “*stand alone*”.

2.1.3 Traçados da Rede e Pontos de Exaustão

O “*layout*” com a localização do atual sistema de exaustão, máquinas, traçado e dimensões das condutas e respetivas distâncias foi realizado propositadamente para este estudo, devido à falta de peças desenhadas. O mesmo foi confirmado pelo departamento da manutenção da Schaeffler.

O estudo do sistema atual foi conduzido pelo “*layout*” das máquinas existentes, sendo que não foram consideradas modificações ou movimentações de máquinas para além daquelas já previstas para a zona das células.

A quantidade de máquinas que se encontra atualmente ligada ao sistema de exaustão está indicado no Quadro 2.2, tendo em conta cada zona de operação.

Quadro 2.2- Número de máquinas existentes nas zonas de operação ligadas ao atual sistema de exaustão

Zona de Operação	Número de Máquinas
Zona Central	161
Zona das Células	16
Zona de Montagem	42
Total	219

O “*layout*” completo do traçado do sistema de exaustão das três zonas de operação e respectivas ligações às máquinas encontra-se nas peças desenhadas do Anexo I.

Na Figura 2.9 é possível perceber o atual sistema de exaustão, tratando-se de um esquema geral que traduz de forma simplificada as condutas e pontos de picagens das máquinas existentes, em todas as zonas, que se encontram atualmente ligadas ao atual sistema de exaustão.

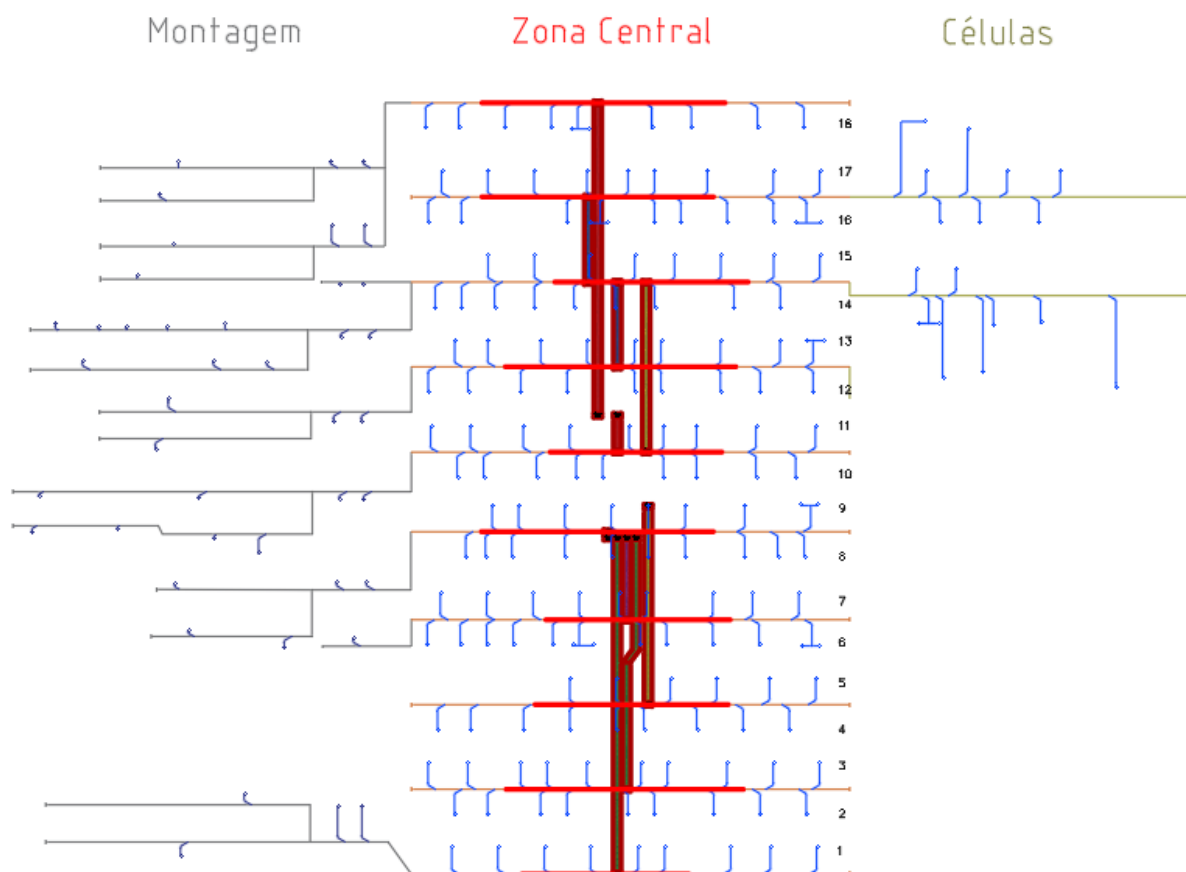


Figura 2.9- Esquema geral do circuito atual de exaustão das três zonas de operação

Na Figura 2.10 consegue-se ilustrar um simples esquema da ramificação cinzenta que representa as tubagens coletoras de exaustão de toda a zona da montagem, com DN 200, enquanto as picagens das máquinas de lavagem estão assinaladas a azul escuro com DN 100.

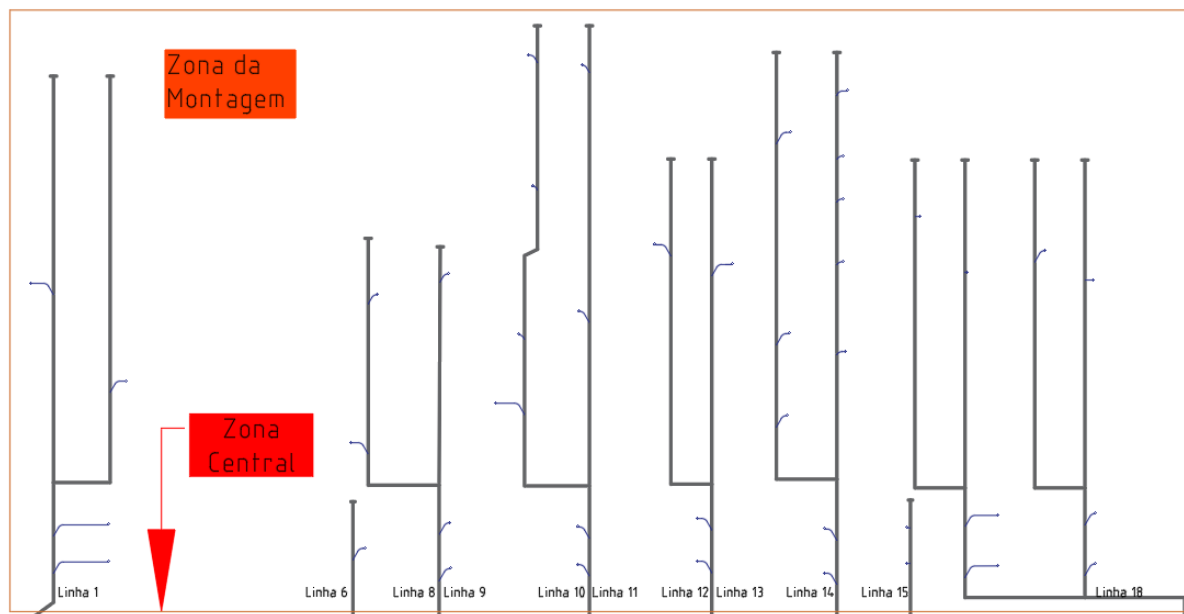


Figura 2.10- Traçado do atual circuito de exaustão da zona da montagem

Na Figura 2.11 é possível analisar a distribuição das máquinas na zona central, sendo que as tubagens vermelhas (DN 355) e laranjas (DN 300) representam as tubagens principais de exaustão, enquanto as tubagens de cor azul marinho (DN 150) assinalam as picagens das máquinas de retificação e super-acabamento.

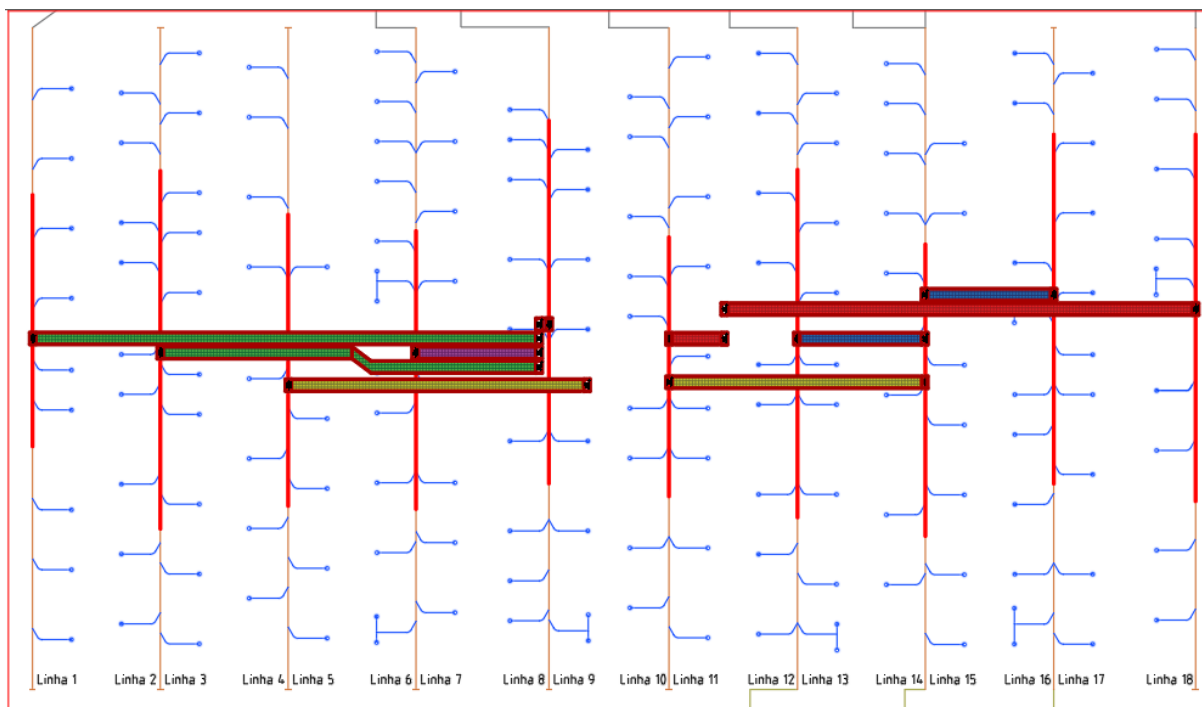


Figura 2.11- Traçado do atual circuito de exaustão da zona central

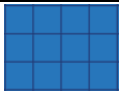




A quantidade de máquinas conectadas a cada conduta retangular é equivalente em todas as linhas, à exceção das linhas 1 e 18, na qual possuem praticamente metade das máquinas.

Dado que cada torre de exaustão se conecta a duas condutas retangulares, pode verificar-se, em concordância com a última figura indicada, o seguinte:

- Linhas 1 e 2/3 se ligam à torre 4 (condutas retangulares verdes)
- Linhas 6/7 e 8/9 se ligam à torre 3 (condutas retangulares violetas)
- Linhas 4/5 e 14/15 se ligam à torre 5 (condutas retangulares amarelas)
- Linhas 10/11 e 18 se ligam à torre 2 (condutas retangulares vermelhas)
- Linhas 12/13 e 16/17 se ligam à torre 1 (condutas retangulares azuis)

Estas indicações estão também representadas de forma ilustrativa no Quadro 2.3.

Quadro 2.3- Correlação entre as condutas das linhas da zona central e as torres de exaustão

Torres Exaustão	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4	Torre 5
Linhas de Exaustão	12/13 e 16/17	10/11 e 18	6/7 e 8/9	1 e 2/3	4/5 e 14/15
Conduta Retangular					

Na Figura 2.12 consegue-se analisar as tubagens de exaustão das quatro células assinaladas com a cor castanho (DN 250) e as picagens das máquinas com a cor azul marinho (DN 150).

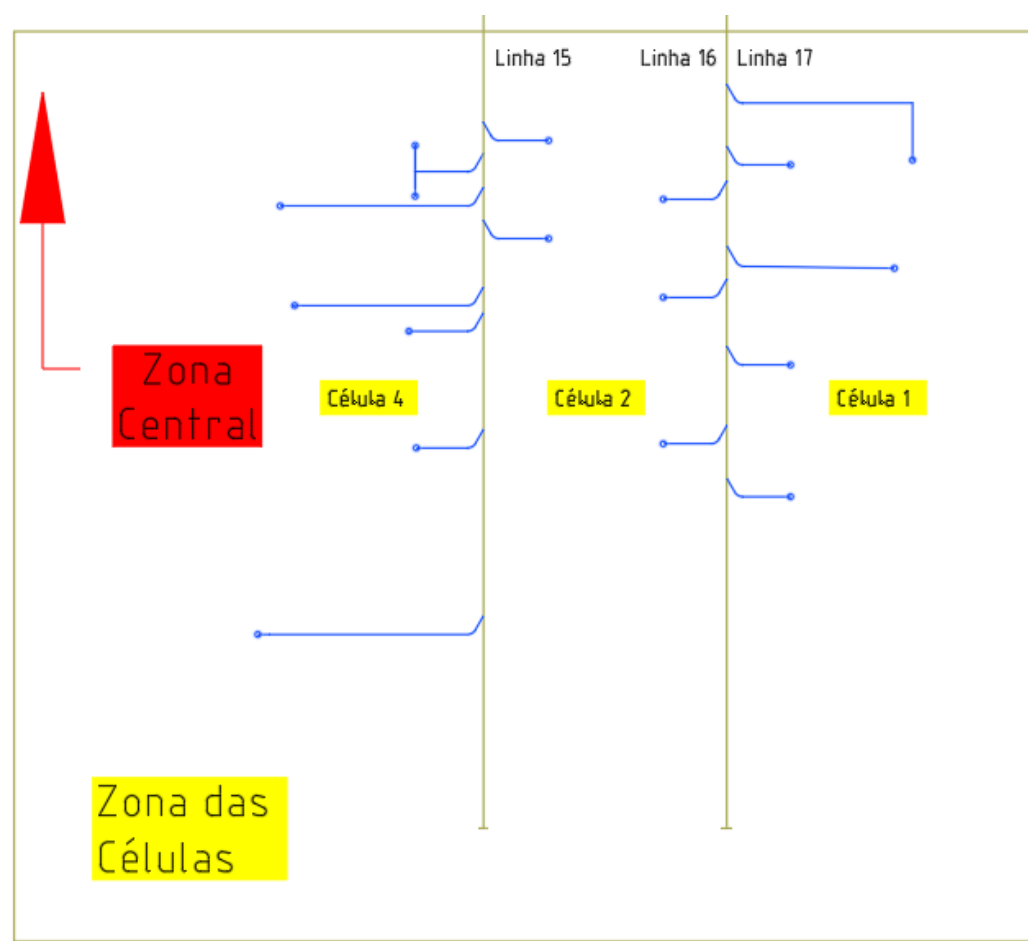


Figura 2.12- Traçado do atual circuito de exaustão da zona das células existentes

2.1.4 Propriedades dos Fluidos de Trabalho e das Névoas de Exaustão

Os vapores de exaustão de névoas de óleo das três zonas têm diferentes propriedades, uma vez que os fluidos usados nestas zonas são também diferentes, de acordo com a seguinte indicação:

- Zona Central: HNL e VRC
- Zona das Células: HNL, VRC, EMS e EXXS
- Zona de Montagem: EXXS

Por uma questão de confidencialidade, os nomes técnicos dos fluidos foram salvaguardados pela utilização das siglas mencionadas anteriormente, representando o seguinte:

- EMS corresponde à emulsão de corte ou óleo de corte solúvel, que consiste em 5% de óleo misturado com 95% de água, sendo usado no processo de retificação grosseira
- VRC corresponde ao óleo de corte inteiro usado no processo de retificação fina
- HNL corresponde ao óleo de corte inteiro usado no processo de super-acabamento
- EXXS corresponde a um fluido especial de lavagem

Os gases libertados são vapores com partículas de óleos em suspensão que condensam ao longo do circuito de exaustão. As características destes fluidos e dos respetivos vapores de névoas estão representadas no Quadro 2.4.

Quadro 2.4- Características dos fluidos de trabalho e respetivos vapores de exaustão

Fluidos	Processo de Operação	Viscosidade cinemática do Óleo (mm ² /s)	Massa volúmica do Óleo (Kg/m ³)	Temperatura dos Vapores (°C)
HNL	Super-Acabamento	4.70 a 40°C	837 a 15°C	30 a 40 °C
EMS	Retificação (95% água + 5% óleo)	0.94 a 40°C	1000 a 15°C	30 a 40 °C
VRC	Retificação	6.20 a 40°C	842 a 15°C	30 a 40 °C
EXXS	Lavagem	1.95 a 40°C	811 a 15°C	25 a 40 °C

As proporções médias destes fluidos nas máquinas que necessitam de exaustão, pelas zonas de operação, estão indicadas no Quadro 2.5.

Quadro 2.5- Proporção dos fluidos das máquinas necessitadas de exaustão nas zonas de operação

Fluido	Zona Montagem	Zona Central	Zona Células
HNL	0 %	50 %	25 %
EMS	0 %	0 %	35 %
VRC	0 %	50 %	20 %
EXXS	100 %	0 %	20 %

De notar que não foi possível analisar internamente mais características dos gases de exaustão das três áreas de estudo, uma vez que a Schaeffler não possui equipamentos de análise de gases.

Tendo em conta a falta de informação sobre as características dos vapores de exaustão das três zonas de operação, admite-se, para efeitos de cálculo, que o escoamento dos vapores de

exaustão equivale ao escoamento do ar ambiente da máquina com uma temperatura mais desfavorável possível, neste caso 40°C, uma vez que quanto maior for a temperatura do gás maior vai ser a viscosidade e, por consequência, maiores são as perdas de carga.

As propriedades termofísicas do ar para a temperatura considerada estão no Quadro 2.6.

Quadro 2.6- Propriedades termofísicas do ar a 40°C

Propriedades termofísicas	Massa Volúmica (kg/m ³)	Viscosidade Dinâmica (N.s/m ²)	Viscosidade Cinemática (m ² /s)
Ar a 40°C	1.129	19.139*10 ⁻⁶	16.95*10 ⁻⁶

2.1.5 Torres de Exaustão

No Quadro 2.7 está representada a tipologia dos equipamentos principais que compõem as atuais torres de exaustão e as respetivas características técnicas, de acordo com o manual do projeto original, disponibilizado pela Schaeffler.

Quadro 2.7- Características dos equipamentos pertencentes ao sistema de exaustão

Equipamentos	Descrição/Modelo	Caraterísticas
Motor elétrico	1 motor por torre – 132 SA4	Potência nominal: 7,50 kW
Moto-Ventilador	1 motor por torre – ART 711/4 N4A	Caudal nominal: 8500 m ³ /h Pressão nominal: 170 mmca
Coluna de Filtração	2 colunas por torre – METEC ME 3/2	Estágio 1: Filtro “DuploV” em chapa galvanizada Estágio 2: Pré-filtro FFME Eficiência 80% Estágio 3: Filtro bolsa BFME-3-95 Eficiência 95%
Conduatas	1 entrada por coluna 1 saída por 2 colunas 1 chaminé por torre	Conduata entrada 600 x 300 mm Conduata saída DN 450 Conduata saída 450 x 550 mm

Neste momento, como referido anteriormente, existem cinco torres de exaustão idênticas.

Relativamente às colunas de filtração, usam-se atualmente as seguintes unidades filtrantes:

- 2 Pré-filtros de Rede 730 x 600 x 45 mm por coluna de filtração
- 2 Pré-filtros de Cassete de Manta Sintética com Aro Metálico G4 610 x 610 x 100 mm por coluna de filtração
- 2 Filtros de Bolsa Sintética F9 590 x 590 x 915 mm por coluna de filtração

As características técnicas destes filtros utilizados são apresentadas no Quadro 2.8 e Figura 2.13.

Quadro 2.8- Características dos filtros das colunas de filtração das torres de exaustão

Equipamentos	Descrição/Modelo	Caraterísticas dos Filtros
Filtros	1º Estágio - Pré-filtros de rede 2º Estágio -Pré-filtros de cassete 3º Estágio -Filtros bolsa sintética	Caudal nominal: 5400 m ³ /h Perda carga inicial: 42 Pa Perda de carga final: 250 Pa

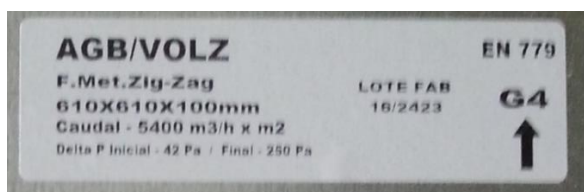


Figura 2.13- Especificações técnicas de um dos filtros usados nas colunas de filtração

De acordo com as especificações técnicas, presentes nas folhas de entrega dos materiais, o caudal máximo de funcionamento de cada filtro é 5400 m³/h, assim como, a perda de carga máxima de cada filtro, independentemente do seu tipo indicado anteriormente, é 250 Pa.

Dado que cada coluna de filtração apresenta três estágios de filtração, e tendo estes a mesma perda de carga final, logo a perda de carga máxima para cada coluna numa torre é 750 Pa.

Relativamente ao sistema de ventilação das torres de exaustão, comprovou-se que tanto os ventiladores como os respetivos motores elétricos ainda se tratam dos equipamentos originais, de acordo com as Figuras 2.14 e 2.15.



Figura 2.14- Chapa técnica dos ventiladores

A potência útil do ventilador indicada na chapa do ventilador é 7.50 CV que corresponde a aproximadamente 5.50 kW.

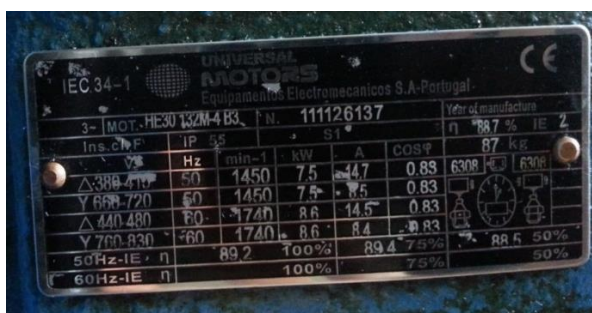


Figura 2.15- Chapa técnica dos motores elétricos dos ventiladores

Através da informação disponível na chapa de características do motor elétrico, pode-se concluir que a potência absorvida é 7.50 kW. Para um regime trifásico em triângulo com uma frequência

de 50 Hz tem-se assim uma potência instalada de 8.45 kW, de acordo com os dados representados no Quadro 2.9.

Quadro 2.9- Cálculo da potência instalada do motor elétrico

Caraterísticas	Tensão (V)	Intensidade (A)	Cos(y)	Potência motor (kW)
Motor Elétrico	400	14.70	0.83	8.45

Este cálculo foi efetuado a partir da Equação 1:

$$P_{inst} = \sqrt{3}.U.I.Cos\varphi \quad (1)$$

O rendimento máximo do motor elétrico é aproximadamente 88.70%, tendo sido calculado pela Equação 2:

$$\eta_{max} = \frac{P_{abs}}{P_{inst}} \times 100 \quad (2)$$

Apesar de não existirem mais informações técnicas do ventilador, foi possível consultar o catálogo da Ferrari – “*Industrial Fan Technology*”, para retirar todos os dados importantes para efeitos de cálculo.

A curva caraterística dos ventiladores atuais está representada na Figura 2.16.

Analisando detalhadamente as curvas caraterísticas e de potência, facilmente se identifica a curva caraterística para o ventilador em causa, uma vez que para 1440 rpm tem-se a curva pretendida para o rotor que se encontra instalado no ventilador.

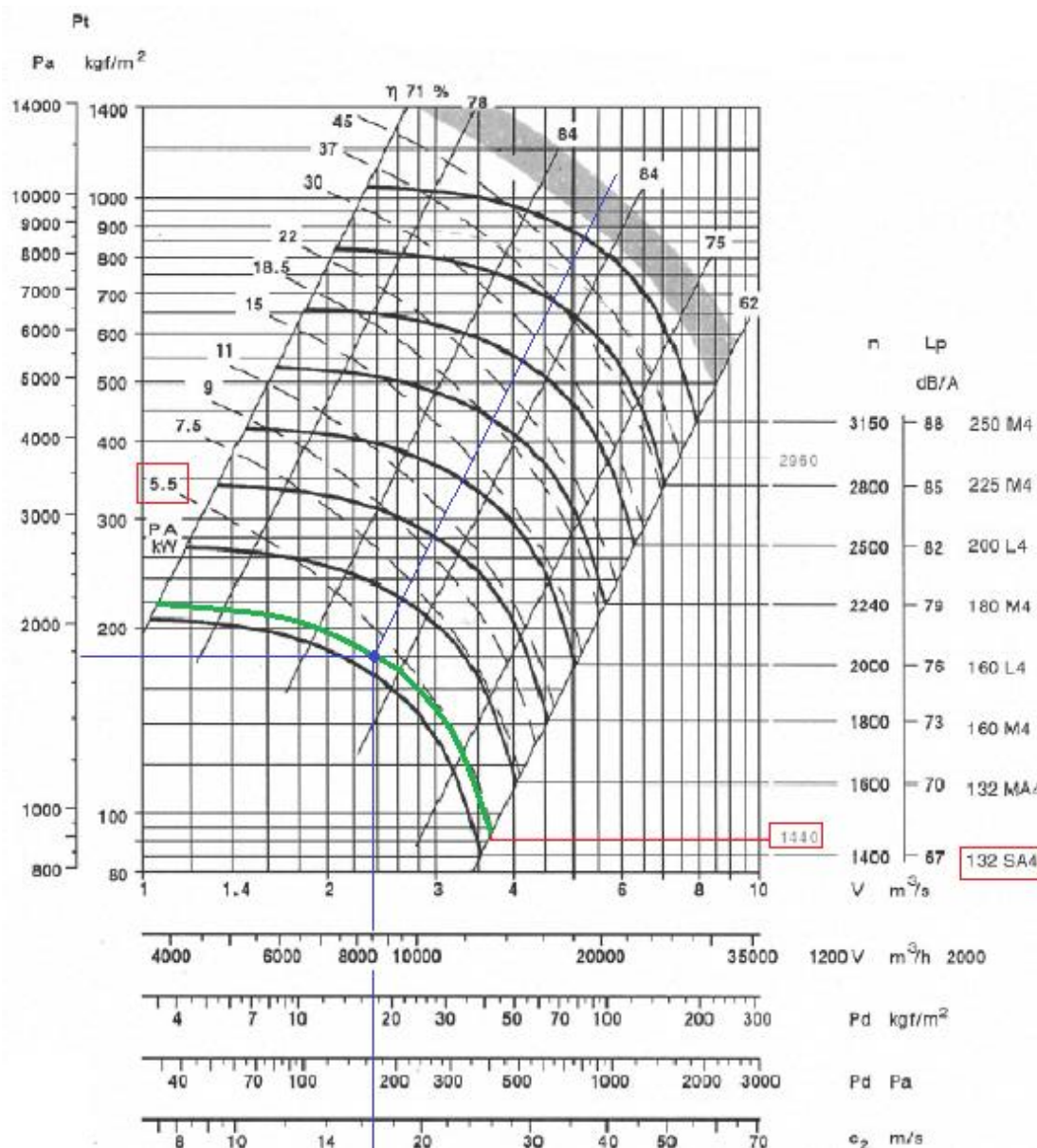


Figura 2.16- Curva pressão-caudal do ventilador ART 711/4

A partir da curva característica do ventilador ART 711/4, assinalada na figura anterior através de uma curva verde, é possível analisar o ponto de rendimento máximo correspondente ao caudal nominal de 8500 m³/h. A partir deste valor consegue-se fixar na curva esse ponto de funcionamento que tem as seguintes características aproximadas, indicadas no Quadro 2.10.

Quadro 2.10- Caracterização do ponto de rendimento máximo do ventilador

Caraterísticas	Caudal	Pressão			Velocidade	Rendimento máximo
		Total (Pa)	Estática (Pa)	Dinâmica (Pa)		
Curva	8500	1800	1635	165	16.50	84

Outra conclusão importante, que se retira da curva, é que o ventilador apresenta uma potência útil de 5.50 kW apenas no seu ponto de funcionamento máximo, sensivelmente a partir dos

12000 m³/h. No seu ponto de rendimento máximo apresenta uma potência útil inferior, nomeadamente 5.40 kW. Estas informações estão indicadas na Figura 2.17.

Tipo / Type / Typ					
Ventilatore Fan Ventilateur Ventilator	Motore Motor Moteur Motor	kW ass.	kW inst.	n.	dB/A*
ART 402/2 N4A	90 L2	2,0	2,2	2850	79
ART 401/2 N4A	100 LB2	2,6	3	2900	80
ART 452/2 N4A	112 M2	3,7	4	2910	81
ART 451/2 N4A	132 SA2	4,4	5,5	2890	82
ART 502/2 N4A	132 SB2	5,4	7,5	2890	86
ART 501/2 N4A	160 MR2	7,6	11	2930	87
ART 562/2 N4A	160 MR2	10,6	11	2930	88
ART 561/2 N4A	160 M2	13,5	15	2935	89
ART 632/2 N4A	180 M2	20	22	2940	92
ART 631/2 N4A	200 LR2	26	30	2960	93
ART 712/2 N4A	200 L2	36	37	2960	94
ART 711/2 N4A	225 M2	44	45	2960	95
ART 802/2 N4A	280 S2	64	75	2960	97
ART 801/2 N4A	280 M2	84	90	2960	98
ART 902/2 N4A	315 M2	116	132	2970	100
ART 901/2 N4A	315 MQ2	150	160	2970	101
ART 562/4 N4A	90 L4	1,4	1,5	1410	68
ART 561/4 N4A	100 LA4	1,8	2,2	1420	71
ART 632/4 N4A	100 LB4	2,7	3	1420	73
ART 631/4 N4A	112 M4	3,5	4	1425	74
ART 712/4 N4A	112 M4	3,9	4	1425	76
ART 711/4 N4A	132 SA4	5,4	5,5	1440	77

Figura 2.17- Tabela técnica do ventilador ART 711/4 (Catálogo ventilador)

De acordo com as informações técnicas do ventilador e respetivo motor elétrico é possível calcular o rendimento global deste sistema, através da Equação 3:

$$\eta_g = \eta_m \times \eta_v \quad (3)$$

De acordo com as condições nominais dos equipamentos, o rendimento do motor e ventilador é 88.70 e 84 %, respetivamente, logo o rendimento global nestas condições é cerca de 74.5 %.

2.1.6 Condutas de Exaustão

Em termos das tubagens, estas são feitas em aço galvanizado sem costura, de ligação flangeada.

De acordo com as zonas de operação, as tubagens circulares apresentam os seguintes diâmetros:

- Zona Central: Coletores DN 350 e DN 300 e Picagens DN 150
- Zona das Células: Coletores DN 250 e Picagens DN 150
- Zona da Montagem: Coletores DN 200 e Picagens DN 100

As tubagens retangulares que unem os circuitos de exaustão às colunas de filtração são todas de igual dimensão, nomeadamente 300 mm de altura por 600 mm de largura.

Em cada torre, a união das colunas de filtração com o moto-ventilador é realizada por uma conduta única circular de 450 mm de diâmetro.

Em termos de posicionamento, o sistema de exaustão apresenta as seguintes características:

- Em todas as zonas de operação, a cota entre o ponto de início de exaustão das máquinas (picagens) e a conduta principal de cada linha é 1,50 m, sendo que praticamente 0.50 m se destina às mangueiras flexíveis e 1.0 m à tubagem rígida
- A cota entre o início da conduta retangular e a entrada nas colunas das torres de exaustão é 3,50 m
- O comprimento total da conduta DN 450 das colunas de filtração é 6 m
- O comprimento total da conduta retangular 450 x 550 mm da chaminé é 3 m

2.2 Especificações Técnicas Especiais do Atual Sistema de Exaustão

As restantes especificações, necessárias para a avaliação do funcionamento e capacidade do atual sistema de exaustão, foram obtidas à parte do projeto inicial de exaustão, dado que o mesmo não possui quaisquer dados de dimensionamento, em termos de caudais e velocidades.

Deste modo, foram admitidos os seguintes pressupostos de cálculo:

- Caudais e velocidades de exaustão das máquinas e condutas foram indicados pelo grupo Schaeffler da Alemanha, atendendo à tipologia de máquinas que requerem exaustão
- Perdas de carga localizadas foram obtidas a partir da relação com as perdas contínuas

2.2.1 Velocidades de Exaustão

Tendo em conta a natureza do fluido de extração, os valores indicadores posteriormente garantem uma adequada exaustão das máquinas:

- Picagens Gerais: em todas as zonas deve existir uma velocidade mínima de 6 m/s na aspiração das névoas do interior das máquinas encapsuladas
- Picagens Específicas: nas máquinas designadas por “MIG”, “IRR” e “NOVA 2G” deve ser verificada uma velocidade mínima de 12 m/s (dobro do valor para as picagens gerais), uma vez que o volume destas máquinas é superior às outras
- Tubagens Principais Circulares/Coletores: em todas as zonas, a velocidades para este tipo de conduta deve ser no mínimo de 10 m/s

- **Tubagens Principais Retangulares:** a velocidades para este tipo de conduta devem também ser no mínimo de 10 m/s

Deste modo, para efeitos de cálculo, todos os diâmetros das tubagens existentes devem cumprir estas velocidades, tendo em contas os caudais de exaustão de cada máquina.

2.2.2 Caudais de Cálculo

Os circuitos de exaustão estão distribuídos pelas três zonas de operação, na qual existem coletores das linhas que são as condutas circulares que recebem as picagens das máquinas.

A natureza e tipologia das máquinas influenciam diretamente a referência do caudal de exaustão. Tendo em conta que todas as máquinas são totalmente encapsuladas, os caudais de cálculo devem ser os seguintes, representados no Quadro 2.11.

Quadro 2.11-Caudais tipo de exaustão das máquinas das três zonas de operação

Máquinas	Processo	Tipo de Fluido	Localização	Caudal (m³/h)
Nova's 2G	Retificação	VRC	Zona Central e Células	1200
MIG's	Retificação			
IRR's	Retificação	EMS	Zona das Células	
Máquinas de Lavar	Lavagem	EXXS	Zona da Montagem e Células	200
Outras	Retificação Superacabamento	VRC HNL	Zona Central e Células	400

Através desta informação, foi possível estimar o fluxo de névoas por cada linha/seção em cada zona de produção, de acordo com os Quadros 2.12, 2.13 e 2.14.

Quadro 2.12-Caudais de cálculo de exaustão das máquinas da área central

Zona Central	Linha 1		Linha 2/3		Linha 4/5		Linha 6/7		Linha 8/9		Linha 10/11		Linha 12/13		Linha 14/15		Linha 16/17		Linha 18	
Máquinas	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal
AFS 500/2	1	400	2	800	1	400	1	400	1	400	2	800	2	800	-	-	1	400	-	-
AFS 5-40	-	-	-	-	-	-	2	800	1	400	-	-	1	400	-	-	2	800	1	400
IFS 52 BM	-	-	2	800	-	-	-	-	-	-	-	-	2	800	-	-	-	-	-	-
IFS 52 LM	1	400	2	800	3	1200	1	400	2	800	2	800	2	800	-	-	-	-	-	-
IFS 52 LR	-	-	2	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IFS 62 BM	2	800	-	-	-	-	3	1200	-	-	-	-	2	800	-	-	3	1200	2	800
IFS 62 LM	1	400	-	-	-	-	1	400	-	-	1	400	-	-	5	2000	2	800	2	800
IFS 10/30 BR	-	-	2	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IFS 10/30 LM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	400	-	-	-	-
IFS BR	-	-	-	-	-	-	-	-	1	400	2	800	2	800	-	-	-	-	-	-
Nova 2G-JP	-	-	-	-	2	2400	-	-	2	2400	1	1200	-	-	-	-	-	-	-	-
Nova P10/65	-	-	-	-	2	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nova Fori	-	-	-	-	-	-	2	800	2	800	-	-	-	-	1	400	-	-	-	-
MIG - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2400	-	-	-	-	2	2400	-	-
ARRO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	400	-	-	-	-
Thiel KM 26	2	800	6	2400	3	1200	2	800	4	1600	2	800	1	400	3	1200	-	-	-	-
Thiel KM 85	2	800	3	1200	1	400	1	400	4	1600	5	2000	2	800	2	800	1	400	-	-
Thiel KM 90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	400	2	800	1	400	3	1200	-	-
HM 2 NC	-	-	-	-	3	1200	5	2000	1	400	-	-	2	800	3	1200	4	1600	4	1600
HM 2 MC	-	-	-	-	-	-	2	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL p/ Linha	9	3600	19	7600	15	7600	20	8000	18	8800	18	9600	18	7200	17	6800	18	8800	9	3600

Quadro 2.13-Caudais de cálculo de exaustão das máquinas da área da montagem

Zona Montagem	Linha 1/2		Linha 6		Linha 6/7		Linha 8/9		Linha 10/11		Linha 12/13		Linha 14/15		Linha 16/17	
Máquinas	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal
	und	m3/h	und	m3/h	und	m3/h	und	m3/h	und	m3/h	und	m3/h	und	m3/h	und	m3/h
Máq. Lavar	-	-	1	200	1	200	3	600	-	-	5	1000	-	-	-	-
Laser	1	200	-	-	-	-	1	200	-	-	1	200	-	-	-	-
6002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	400	-	-	-	-
6203	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	400	-	-
AR Waschen	2	400	-	-	2	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOPAMOG	1	200	-	-	-	-	-	-	-	-	2	400	-	-	-	-
Outros	-	-	-	-	2	400	4	800	4	800	-	-	4	800	4	800
TOTAL p/ Linha	4	800	1	200	5	1000	8	1600	4	800	10	2000	6	1200	4	800

Quadro 2.14-Caudais de cálculo de exaustão das máquinas da área das células existentes

Zona Células	Célula 1		Célula 2		Célula 4	
Máquinas	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal
	und	m3/h	und	m3/h	und	m3/h
AFS 5-40	-	-	-	-	1	400
IRR 2 SD	1	1200	1	1200	-	-
Supfina 717/2	-	-	-	-	-	-
Supfina 707	-	-	-	-	-	-
Máq. Lavar	-	-	-	-	1	200
ALS1-C	-	-	-	-	-	-
IFS 62 BM	-	-	-	-	1	400
Nova 2G-JP	1	1200	1	1200	1	1200
Nova PGE	-	-	-	-	-	-
Nova 2GP	-	-	-	-	-	-
Nova 2G-S	-	-	-	-	-	-
MIG - 75	1	1200	-	-	-	-
Arro	-	-	1	400	-	-
Thiel KM 85	1	400	-	-	-	-
Thiel KM 90	1	400	2	800	-	-
HM 2 NC	-	-	-	-	2	800
VH	-	-	-	-	-	-
TOTAL p/ Linha	5	4400	5	3600	6	3000

A partir destes dados, consegue-se obter o fluxo total volumétrico de névoas de cada zona de produção, através do Quadro 2.15, ilustrando o cenário da situação atual.

Quadro 2.15-Número total de máquinas e respetivos caudais de cálculo de exaustão para as três zonas

Zonas Operação	Atual	
	Máquinas	Caudal
	und	m3/h
Central	161	71600
Montagem	42	8400
Células	16	11000
TOTAL	219	91000

Em termos de cálculo, pode-se correlacionar o caudal com a velocidade, através da Equação 4:

$$Q = V.A \quad (4)$$

2.2.3 Perdas de Pressão

A perda de pressão do circuito depende do caudal e tipo de traçado, sendo que, para efeitos de cálculo, a perda de carga máxima representa sempre o traçado mais desfavorável, normalmente em termos de comprimento, tendo em conta a velocidade exigida nas condutas.

Deste modo, a perda de carga total deve representar o somatório das perdas de carga contínuas e localizadas desse circuito mais desfavorável, desde o ponto de picagem da máquina mais distante até ao ponto de descarga mais distante para a atmosfera.

As perdas de carga contínuas representam apenas a perda de carga associada à resistência na passagem do fluido pelas tubagens, tendo em conta a dimensão das condutas e respetivo caudal.

Em termos de cálculo, pode-se calcular essas perdas, através da Equação 5, que traduz a Lei de de Darcy-Weisbach:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{f}{D} \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2g} \left\{ \begin{array}{l} f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{0.54}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} \\ V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} \\ \text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot d_h}{\mu} = \frac{V \cdot d_h}{\nu} \\ d_h = \frac{4A}{P} \end{array} \right. \quad (5)$$

As perdas de carga localizadas correspondem aos acessórios e variações presentes num circuito, tais como os filtros das colunas de filtração, registos manuais (regulação do caudal pelo seccionamento da tubagem) das picagens, curvas, derivações, estrangulamentos e alargamentos dos traçados.

Uma vez que estes tipos de acessórios normalmente não apresentam uma perda de carga relevante, é usual admitir-se, para efeitos de cálculo, que as perdas de carga localizadas podem corresponder entre 10 a 20 % das perdas de carga contínuas.

Deste modo, do ponto de vista do projetista, considera-se a situação mais desfavorável, isto é, todas as perdas de carga localizadas correspondem a 20% das perdas contínuas, pelo que num troço qualquer do circuito de exaustão, a perda de carga total vai corresponder a cerca de 1.2 vezes a perda de carga contínua calculada.

Esta suposição não engloba as perdas de carga máximas das colunas de filtração, uma vez que as mesmas foram anteriormente quantificadas.

2.3 Avaliação do Sistema de Exaustão Existente para a Situação Atual

Os resultados apresentados neste subcapítulo permitem verificar a capacidade do atual sistema de exaustão para o cenário atual de necessidades de exaustão, tendo como referência as considerações iniciais e especificações técnicas descritas no início deste capítulo.

Essa condição de verificação tem por base os seguintes objetivos:

- Analisar os caudais exigidos de exaustão, para cada máquina, e comparar o caudal total possível nos circuitos com a capacidade dos ventiladores das torres de exaustão, tendo em conta as atuais ligações da zona da montagem e células à zona central
- Analisar as perdas de pressão dos circuitos mais desfavoráveis, associados a cada torre de exaustão, e comparar com a capacidade de sucção dos ventiladores, tendo em conta as atuais ligações da zona da montagem e células à zona central
- Analisar as condutas existentes através da verificação das velocidades mínimas requeridas tendo em conta a tipologia das tubagens

Os resultados dessa verificação têm como base os principais pressupostos:

- Considerar apenas as máquinas que necessitam de exaustão de névoas
- Capacidade de exaustão dos gases das máquinas, tendo em conta os caudais de exaustão definidos para as tipologias das máquinas
- Coeficiente de simultaneidade igual a 1, com todas as máquinas, ligadas ao sistema de exaustão, a funcionar ao mesmo tempo, tratando-se da situação mais desfavorável e mais próxima da realidade devido à atual laboração contínua
- Interligação física das três zonas de operação, sem separação das névoas de exaustão das zonas de operação

2.3.1 Tubagens de Exaustão

Primeiramente foram verificadas as tubagens individuais, presentes nas picagens das máquinas, para as três zonas de operação, considerando os caudais individuais definidos para cada máquina e os respetivos diâmetros das condutas instaladas nas picagens.

Nos Quadros 2.16 ao 2.18, estão representadas as velocidades calculadas, tendo em conta os caudais e os respetivos diâmetros, e comparação com as velocidades requeridas.

Quadro 2.16-Verificação das atuais tubagens individuais das máquinas da zona central

Máquinas da Zona Central	Caudal (m³/h)	Diâmetro (mm)	Área Seção (m²)	Velocidade calculada (m/s)	Velocidade mínima (m/s)
MIG	1200	DN 150	0.018	18.86	12
Nova 2G				6.29	6
Outros	400				

Quadro 2.17-Verificação das atuais tubagens individuais das máquinas da zona da montagem

Máquinas da Zona da Montagem	Caudal (m³/h)	Diâmetro (mm)	Área Seção (m²)	Velocidade calculada (m/s)	Velocidade mínima (m/s)
Todas	200	DN 100	0.008	7.07	6

Quadro 2.18-Verificação das atuais tubagens individuais das máquinas da zona das células existentes

Máquinas da Zona das Células	Caudal (m³/h)	Diâmetro (mm)	Área Seção (m²)	Velocidade calculada (m/s)	Velocidade mínima (m/s)
IRR	1200	DN 150	0.018	18.86	12
MIG				6.29	6
Nova 2G	400				
Outros					

Analisando os cálculos, pode-se concluir que as tubagens individuais de exaustão, instaladas em cada máquina, estão em concordância, para todas as zonas, com as velocidades mínimas exigidas pelo grupo.

Em segundo lugar, foram verificadas as tubagens circulares coletoras, presentes nas três zonas de operação, considerando os caudais acumulados ao longo dos troços e os respetivos diâmetros das condutas existentes, atendendo à situação real de exaustão.

Na zona da montagem, existem coletores circulares, que recebem os vapores das picagens, todas com o diâmetro DN 200, enquanto que na zona das células, existem dois coletores circulares instalados para cada linha de célula existente, todos com o diâmetro DN 250.

Na zona central, as condutas coletoras circulares de exaustão dividem-se em três seções:

- 1 conduta localizada no meio, que se liga com a conduta retangular, tendo o diâmetro de DN 355
- 2 condutas laterais mais pequenas, que se unem com a conduta do meio, perfazendo uma redução de DN 355 para o diâmetro de DN 300

Enquanto que nas zonas da montagem e células, o caudal acumulado corresponde ao caudal libertado pelas máquinas ao longo do traçado das condutas, na zona central, certas condutas, para além do caudal acumulado das máquinas dessa zona, também recebem os caudais provenientes das zonas da montagem e células.

Nos Quadros 2.19 ao 2.25, estão representadas as velocidades calculadas, tendo em conta os caudais e os respetivos diâmetros, e comparação com as velocidades requeridas.

Quadro 2.19- Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona da montagem da linha 1 à linha 7

Parâmetros	Linha 1	Linha 2	Linha 1/2	Linha 6a	Linha 6	Linha 7	Linha 6/7
Caudal (m ³ /h)	200	200	800	200	400	200	1000
Diâmetro (mm)	200						
Distância (m)	20.0	22.8	8.89	8.71	15.65	11.73	11.91
Velocidade calculada (m/s)	1.77	1.77	7.07	1.77	3.54	1.77	8.84
Velocidade mínima (m/s)	10						

Quadro 2.20- Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona da montagem da linha 8 à linha 11

Parâmetros	Linha 8	Linha 9	Linha 8/9	Linha 10	Linha 11	Linha 10/11
Caudal (m ³ /h)	800	400	1600	200	200	800
Diâmetro (mm)	200					
Distância (m)	26.24	22.64	9.49	18.02	16.00	10.98
Velocidade calculada (m/s)	7.07	3.54	14.15	1.77	1.77	7.07
Velocidade mínima (m/s)	10					

Quadro 2.21- Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona montagem da linha 12 à linha 15

Parâmetros	Linha 12	Linha 13	Linha 12/13	Linha 14a	Linha 14	Linha 15	Linha 14/15
Caudal (m ³ /h)	600	1000	2000	400	200	200	800
Diâmetro (mm)	200						
Distância (m)	23.99	21	11.45	6.79	18.62	16.14	5.39
Velocidade calculada (m/s)	5.31	8.84	17.68	3.54	1.77	1.77	7.07
Velocidade mínima (m/s)	10						

Quadro 2.22- Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona montagem da linha 16 à linha 17

Parâmetros	Linha 16	Linha 17	Linha 16/17
Caudal (m ³ /h)	200	200	800
Diâmetro (mm)	200		
Distância (m)	18.62	16.14	12.31
Velocidade calculada (m/s)	1.77	1.77	7.07
Velocidade mínima (m/s)	10		

Quadro 2.23- Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona das células existentes

Parâmetros	Célula 1/2 – Linhas 16/17	Célula 2/4 – Linhas 14/15
Caudal (m ³ /h)	7200	3800
Diâmetro (mm)	250	
Distância (m)	26.06	27.09
Velocidade calculada (m/s)	40.74	21.50
Velocidade mínima (m/s)	10	

Quadro 2.24- Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona central da linha 1 à linha 9 para situação atual de exaustão

Parâmetros	Linha 1		Linha 2/3		Linha 4/5		Linha 6/7		Linha 8/9	
Caudal (m ³ /h)	400 a 1200	1200 a 2400	400 a 1600	1600 a 4000	400 a 2400	2000 a 4800	400 a 3000	1600 a 4600	400 a 2800	1400 a 6000
Diâmetro (mm)	300	355	300	355	300	355	300	355	300	355
Distância (m)	13.89	12.59	10.55	17.93	12.88	14.59	14.06	13.93	7.46	17.52
Velocidade calculada (m/s)	1.57 a 4.72	3.37 a 6.74	1.57 a 6.29	4.49 a 11.23	1.57 a 9.43	5.61 a 13.47	1.57 a 11.79	4.49 a 12.91	1.57 a 11.00	3.93 a 16.84
Velocidade mínima (m/s)	10									

Quadro 2.25- Verificação das velocidades nas atuais condutas circulares da zona central da linha 10 à linha 18 para a situação atual de exaustão

Parâmetros	Linha 10/11		Linha 12/13		Linha 14/15		Linha 16/17		Linha 18	
Caudal (m ³ /h)	400 a 3200	3200 a 6000	800 a 2400	1600 a 4000	2800 a 5000	4800 a 6600	400 a 10000	1200 a 13600	400 a 2400	800 a 3600
Diâmetro (mm)	300	355	300	355	300	355	300	355	300	355
Distância (m)	15	12.98	10.57	17.42	13.38	14.61	10.99	17.49	9.11	18.37
Velocidade calculada (m/s)	1.57 a 12.58	8.98 a 16.84	3.14 a 9.43	4.49 a 11.23	11.00 a 19.65	13.47 a 18.52	1.57 a 39.30	3.37 a 38.17	1.57 a 9.43	2.25 a 10.10
Velocidade mínima (m/s)	10									

Analisando os cálculos da zona da montagem, pode-se concluir que a maioria das condutas estão sobredimensionadas, pelo que é conveniente a substituição dessas tubagens por outras de menor diâmetro, caso não esteja previsto nenhuma alteração do número de máquinas de lavar.

Analisando os cálculos da zona das células, pode-se concluir que as velocidades calculadas são ligeiramente superiores à velocidade mínima, o que traduz em maiores perdas de carga contínuas. Neste caso, dependendo da capacidade do sistema de exaustão, deve-se analisar posteriormente a necessidade em substituir as tubagens por outras de maior diâmetro.

Analisando os cálculos da zona central, pode-se concluir que praticamente todos os troços das condutas circulares estão sobredimensionados, uma vez que grande maioria das velocidades calculadas são inferiores à velocidade mínima, pelo que é conveniente a substituição por condutas de menor diâmetro.

Em terceiro lugar, foram ainda verificadas as tubagens retangulares localizadas na zona central, através do Quadro 2.26.

Quadro 2.26-Verificação das velocidades nas atuais condutas retangulares da zona central para a situação atual

Parâmetros	Linha 1	Linha 2/3	Linha 4/5	Linha 6/7	Linha 8/9	Linha 10/11	Linha 12/13	Linha 14/15	Linha 16/17	Linha 18
Caudal (m ³ /h)	4400	7600	7600	8200	9800	11200	8000	13000	16000	5200
Seção (mm)	600 mm X 300 mm									
Área (m ²)	0.180									
Distância (m)	29.15	23.0	18.74	10.0	4.31	6.58	10.21	16.60	10.26	27.40
Velocidade calculada (m/s)	6.79	11.73	11.73	12.65	15.12	17.28	12.35	20.06	24.69	8.02
Velocidade mínima (m/s)	10									

Analisando estes cálculos, pode-se concluir que a maioria das condutas retangulares existentes são suficientes para garantir velocidades superiores a 10 m/s. Contudo, as condutas que recebem os vapores das linhas 1 e 18, apresentam uma velocidade inferior à mínima, pelo que se recomenda a substituição dessas tubagens por outras de menor diâmetro, caso não se preveja um aumento da necessidade de exaustão dessas mesmas linhas.

2.3.2 Capacidade do Sistema de Exaustão Existente

No edifício 1 existem cinco torres de exaustão, destinadas a tratar todos os vapores de exaustão provenientes das três zonas de operação previamente referidas.

No total existem 10 condutas retangulares que estão conectadas a 10 condutas circulares que recebem, neste momento, as picagens de todas as máquinas das três zonas.

Na cobertura, cada torre tem capacidade para receber duas dessas condutas retangulares, que se ligam respetivamente a duas colunas de filtração, cada uma com três estágios de filtração. Estas colunas se unem a jusante para entregar os vapores limpos ao moto-ventilador para descarregar o ar limpo para a atmosfera.

Este modo e condição de funcionamento está representado na Figura 2.18.

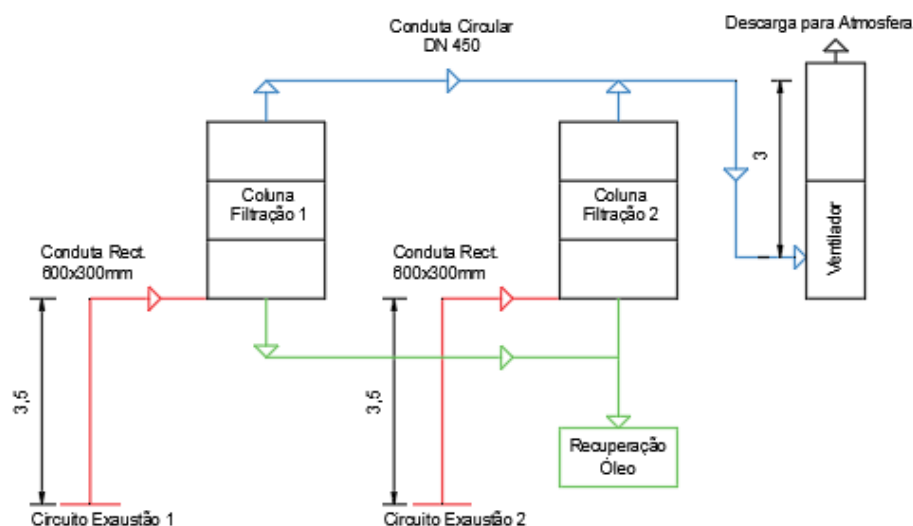


Figura 2.18- Esquema do sistema atual de filtração das torres de exaustão

No Quadro 2.27, estão indicados os caudais de exaustão alocados a cada torre de exaustão, tendo em conta a totalidade dos vapores libertados pelas máquinas das três zonas de operação.

Quadro 2.27-Caudais de cálculo de exaustão para cada linha principal de exaustão na zona central

Linhas de exaustão	1	2/3	4/5	6/7	8/9	10/11	12/13	14/15	16/17	18
Caudal de cálculo (m³/h)	4400	7600	7600	8200	9800	11200	8000	13000	16000	5200

A eficiência da extração também depende das perdas de pressão associadas a cada circuito, de acordo com os caudais de exaustão e as distâncias. Dado que as seções destas tubagens apresentam uma forma retangular, optou-se por calcular o diâmetro equivalente, através da Equação 6, para facilitar o cálculo das perdas de carga.

$$D_{eq} = 1.30 \times \frac{(L.H)^{0.625}}{(L + H)^{0.25}} \quad (6)$$

As perdas de carga contínuas englobaram todo o traçado do circuito mais desfavorável das linhas, incluindo o troço de picagem da máquina, conduta circular e retangular, conduta das colunas de filtração e ainda a tubagem de descarga para a atmosfera.

No Quadro 2.28, estão indicadas o balanço das perdas de carga associados aos circuitos mais desfavoráveis de cada circuito de exaustão. Estes cálculos foram realizados no sentido de se perceber se a sucção no ponto/máquina mais distante seria suficiente para manter uma pressão de vácuo em todo o circuito e garantir assim a extração para a atmosfera.

Quadro 2.28-Perdas de pressão dos circuitos mais desfavoráveis até às torres de exaustão

Perda de Pressão	Linha 1	Linha 2/3	Linha 4/5	Linha 6/7	Linha 8/9	Linha 10/11	Linha 12/13	Linha 14/15	Linha 16/17	Linha 18
Perdas de pressão na filtração (Pa)	750									
Distâncias (m)	68.84	46.43	43.10	41.61	52.43	66.08	59.00	73.69	54.40	84.59
Perdas de pressão contínuas (Pa)	113.28	150.58	216.60	178.93	221.45	371.13	265.92	708.46	1570.6	280.43
Perdas de pressão localizadas (Pa)	22.66	30.12	43.32	35.79	44.29	74.23	53.18	141.69	314.13	56.09
Perdas de pressão traçado (Pa)	135.94	180.70	259.92	214.71	265.74	445.35	319.10	850.15	1884.8	336.51
Perda Total (Pa)	885.94	930.70	1009.99	964.71	1015.7	1195.4	1069.1	1600.2	2634.8	1086.5

Pela análise das pressões relativas que foram calculadas na saída das máquinas para as picagens de exaustão, verifica-se que mesmo na situação mais desfavorável, linha 16/17 com uma depressão de 737 Pa, consegue-se garantir uma excelente margem para o valor nulo.

A partir dos cálculos da última tabela, é possível resumir a informação mais importante no Quadro 2.29, que contempla os valores de caudal de cálculo e pressões necessárias para verificar as condições adequadas de funcionamento dos ventiladores das torres.

Quadro 2.29-Caudal máximo e pressão estática máxima para cada torre de exaustão

Torres	1		2		3		4		5	
Linhas de exaustão	12/13	16/17	10/11	18	6/7	8/9	1	2/3	4/5	14/15
Caudal total (m³/h)	8000	16000	11200	5200	8200	9800	4400	7600	7600	13000
	24000		16400		18000		12000		20600	
Pressão estática máxima (Pa)	1069.1	2634.8	1195.4	1086.5	964.7	1015.7	885.9	930.7	1009.9	1600.2
	2634.8		1195.4		1015.7		930.7		1600.2	

Para consultar estes pontos de funcionamento na curva característica do ventilador, para cada torre de exaustão, é necessário ainda considerar a pressão total, uma vez que as curvas do fabricante apresentam o diagrama em função da pressão total.

De acordo com a curva característica do ventilador, não é possível achar os pontos de funcionamento das torres 1, 2, 3 e 5, uma vez que os respetivos caudais de cálculo são bastante superiores ao caudal máximo possível para este ventilador, nomeadamente 13000 m³/h. Contudo, a torre 4 apresenta um ponto possível na curva, que é demonstrada na Figura 2.19.

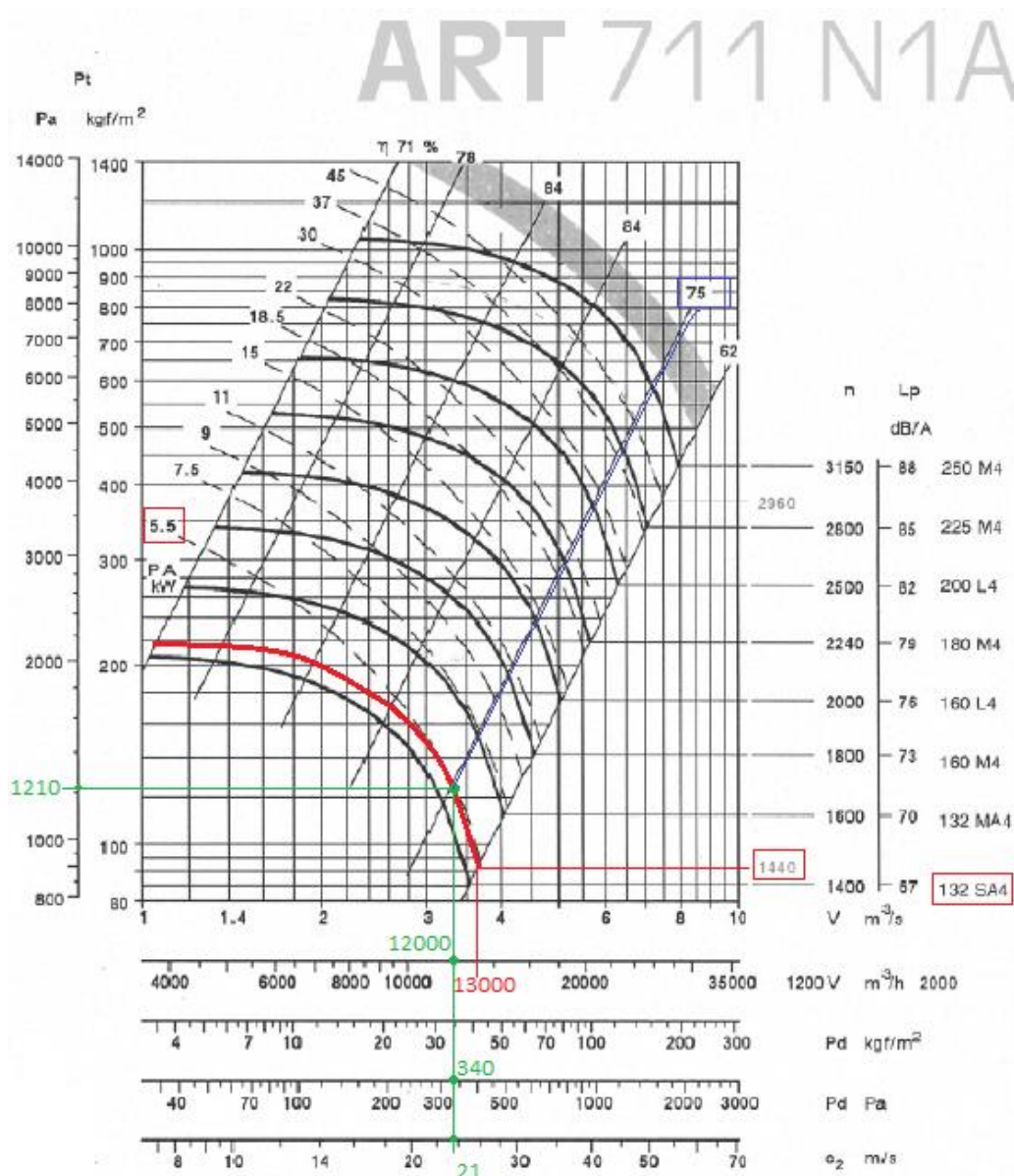


Figura 2.19- Ponto teórico de funcionamento da torre de exaustão 4

De acordo com o ponto identificado, verificou-se as características técnicas de funcionamento, representadas no Quadro 2.30. A pressão estática foi calculada sabendo que a pressão total resulta do somatório da pressão estática com a pressão dinâmica.

Quadro 2.30- Características do ponto de funcionamento teórico considerado para a torre 4

Caraterísticas do ponto	Torre 4
Caudal (m^3/h)	12000
Velocidade (m/s)	21
Pressão dinâmica (Pa)	340
Pressão total (Pa)	1210
Pressão estática (Pa)	870
Rendimento (%)	73

Sabendo que a pressão estática calculada para a torre 4 foi 930,70 Pa (Quadro 2.29), pode-se concluir que a torre 4 não é suficiente para trabalhar no ponto de funcionamento, retirado da

curva característica, uma vez que para o caudal de 12000 m³/h, o ventilador consegue fornecer apenas uma pressão estática negativa de 870 Pa, valor este ligeiramente abaixo da pressão estática calculada.

Apesar destes cálculos demonstrarem que a atual rede de exaustão não tem a capacidade adequada para garantir o correto funcionamento do sistema, optou-se também por fazer essa verificação com base em dados reais sobre o funcionamento dos ventiladores. Para o efeito, realizaram-se medições da velocidade à saída dos ventiladores, nas tomadas de ar (Figura 2.21) preparadas para medição de poluentes, utilizando o medidor de velocidade (Figura 2.20).



Figura 2.20- Medidor de velocidade com cabo extensível com sensor



Figura 2.21- Ponto de inserção do cabo com sensor de velocidade nas tomadas de ar das chaminés

Realizando três medições, próximo do meio da seção principal, foi possível obter os dados que estão indicados no Quadro 2.31.

Quadro 2.31-Resultados das medições de velocidade nas condutas de saídas após os ventiladores das torres

Pontos	Torre 1			Torre 2			Torre 3			Torre 4			Torre 5		
Velocidade (m/s)	6.14	7.15	5.95	8.67	9.23	8.99	11.14	12.51	10.85	12.09	13.12	11.54	6.94	8.17	7.01
Velocidade média (m/s)	6.41			8.96			11.50			12.25			7.37		
Área da seção (m²)	0.248														
Caudal (m³/h)	5714			7986			10247			10915			6570		

De acordo com estes cálculos é possível comprovar que os caudais de funcionamento se encontram bastante abaixo dos caudais de cálculo.

Tal como se tinha comprovado anteriormente pela primeira análise, nenhuma das torres de exaustão apresentam capacidade de exaustão para o atual cenário de máquinas existente no edifício 1 da fábrica.

Contudo, consultou-se na curva característica do ventilador, estes pontos de funcionamento reais, para cada torre de exaustão, para se verificar se existe uma pressão negativa o suficiente no final dos troços desfavoráveis. Esta análise foi efetuada a partir da Figura 2.22.

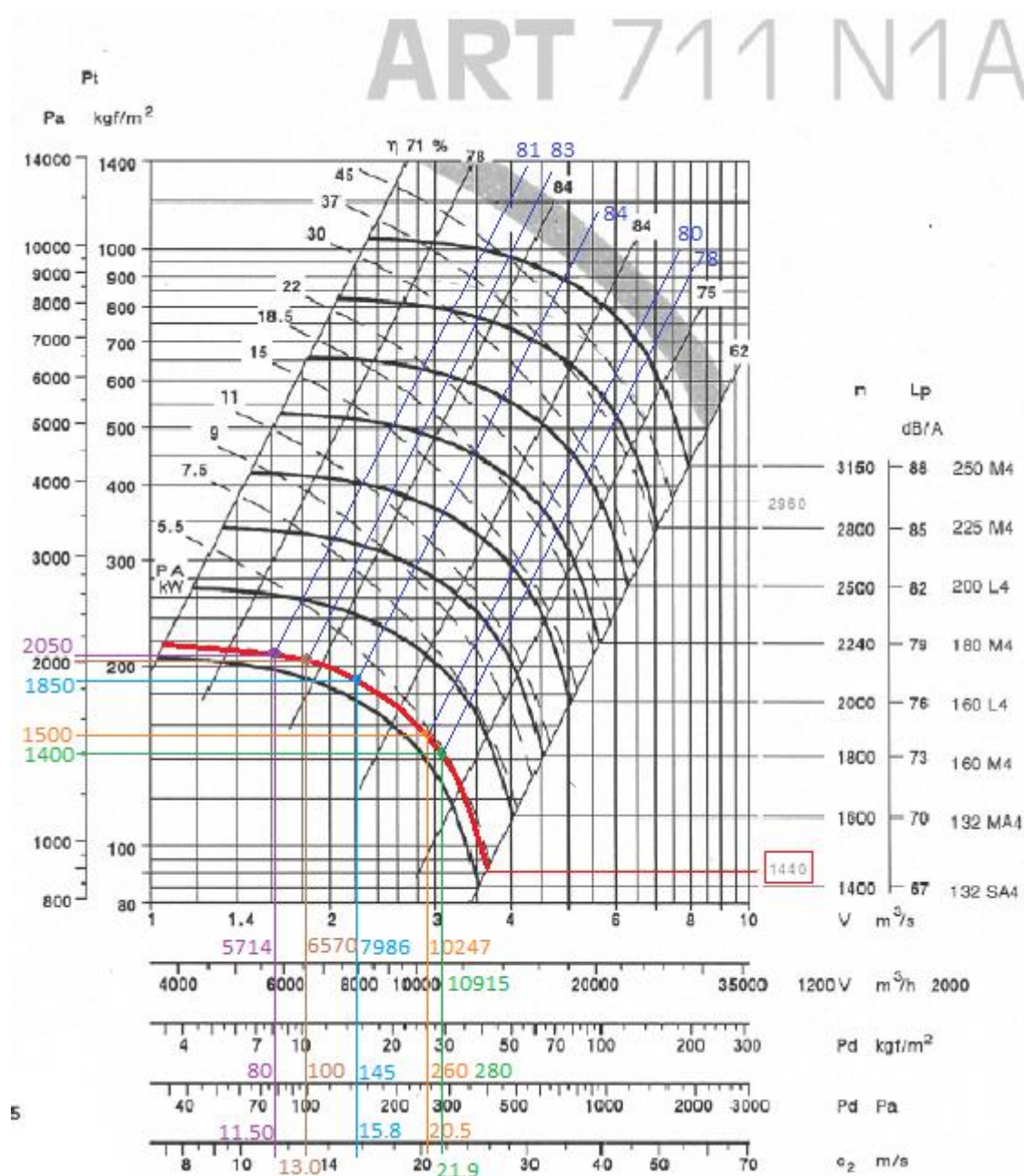


Figura 2.22- Pontos de funcionamento reais dos ventiladores das torres de exaustão

De acordo com os pontos assinalados, verificou-se as seguintes características de funcionamento, representadas no Quadro 2.32.

Quadro 2.32- Caraterísticas dos pontos de funcionamento reais das torres de exaustão

Caraterísticas do ponto	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4	Torre 5
Caudal (m ³ /h)	5714	7986	10247	10915	6570
Velocidade (m/s)	11.50	15.80	20.50	21.90	13.0
Pressão dinâmica (Pa)	80	145	260	280	100
Pressão total (Pa)	2050	1850	1500	1400	2000
Pressão estática (Pa)	1970	1705	1240	1120	1900
Rendimento Ventilador (%)	81	84	80	80	83

De acordo com os cálculos, pode-se concluir os seguintes pontos:

- Torre 1: a pressão estática da curva caraterística é inferior à pressão calculada 2634.80 Pa, o que significa que o ventilador no regime do caudal 5714 m³/h não consegue garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável da torre
- Torre 2: a pressão estática da curva caraterística é superior à pressão calculada de 1195.4 Pa, pelo que existe uma margem de 509.60 Pa para se garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável da torre
- Torre 3: a pressão estática da curva caraterística é superior à pressão calculada de 1015.7 Pa, pelo que existem uma margem de 224.30 Pa para se garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável da torre
- Torre 4: a pressão estática da curva caraterística é superior à pressão calculada de 930.7 Pa, pelo que existem uma margem de 189.30 Pa para se garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável da torre
- Torre 5: a pressão estática da curva caraterística é superior à pressão calculada de 1600.20 Pa, pelo que existem uma margem de 299.80 Pa para se garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável da torre

2.4 Avaliação do Sistema de Exaustão Existente para a Situação Futura

Os resultados apresentados neste subcapítulo permitem verificar a capacidade do atual sistema para tratar apenas os vapores provenientes das máquinas da zona central, sendo que os pressupostos são os mesmos considerados no anterior subcapítulo.

2.4.1 Tubagens de Exaustão

De acordo com os Quadros 2.33 ao 2.37, foram verificadas as tubagens circulares coletoras da zona central, considerando apenas os caudais de cálculo, acumulados ao longo dos troços, das máquinas da zona central e os respetivos diâmetros das condutas existentes.

Quadro 2.33-Verificação das tubagens atuais circulares da zona central da linha 1 à linha 2/3 para a situação futura de exaustão

Parâmetros	Linha 1				Linha 2/3			
	Esquerda		Direita		Esquerda		Direita	
Caudal (m³/h)	400 a 800	800 a 1600	400 a 1200	1200 a 2000	400 a 1600	1600 a 4000	400 a 1200	1600 a 3600
Diâmetro (mm)	300	355	300	355	300	355	300	355
Distância (m)	4.77	7.19	9.12	5.38	5.35	9.08	5.20	8.85
Velocidade calculada (m/s)	1.57 a 3.14	2.25 a 4.49	1.57 a 4.72	3.37 a 5.61	1.57 a 6.29	4.49 a 11.23	1.57 a 4.72	4.49 a 10.10
Velocidade mínima (m/s)	10							

Quadro 2.34-Verificação das tubagens atuais circulares da zona central da linha 4/5 à linha 6/7 para a situação futura de exaustão

Parâmetros	Linha 4/5				Linha 6/7			
	Esquerda		Direita		Esquerda		Direita	
Caudal (m³/h)	400 a 2000	2000 a 4800	400 a 1600	1600 a 2800	400 a 2800	2800 a 4400	400 a 1600	1600 a 3600
Diâmetro (mm)	300	355	300	355	300	355	300	355
Distância (m)	6.82	8.54	6.06	6.06	8.43	6.57	5.63	7.83
Velocidade calculada (m/s)	1.57 a 7.86	5.61 a 13.47	1.57 a 6.29	4.49 a 7.86	1.57 a 11.00	7.86 a 12.35	1.57 a 6.29	4.49 a 10.10
Velocidade mínima (m/s)	10							

Quadro 2.35-Verificação das tubagens atuais circulares da zona central da linha 8/9 à linha 10/11 para a situação futura de exaustão

Parâmetros	Linha 8/9				Linha 10/11			
	Esquerda		Direita		Esquerda		Direita	
Caudal (m³/h)	400	400 a 2800	400 a 2800	2800 a 6000	400 a 2400	2400 a 3600	400 a 3200	3200 a 6000
Diâmetro (mm)	300	355	300	355	300	355	300	355
Distância (m)	0.64	9.55	6.82	7.97	8.48	5.08	6.52	7.90
Velocidade calculada (m/s)	1.57	1.12 a 7.86	1.57 a 11.00	7.86 a 16.84	1.57 a 9.43	6.74 a 10.10	1.57 a 12.58	8.98 a 16.84
Velocidade mínima (m/s)	10							

Quadro 2.36-Verificação das tubagens atuais circulares da zona central da linha 12/13 à linha 14/15 para a situação futura de exaustão

Parâmetros	Linha 12/13				Linha 14/15			
	Esquerda		Direita		Esquerda		Direita	
Caudal (m³/h)	400 a 1600	1600 a 3200	400 a 1600	1600 a 4000	400 a 2400	2400 a 4000	400 a 1200	1200 a 2800
Diâmetro (mm)	300	355	300	355	300	355	300	355
Distância (m)	5.28	8.46	5.29	8.95	8.50	6.90	4.88	7.72
Velocidade calculada (m/s)	1.57 a 6.29	4.49 a 8.98	1.57 a 6.29	4.49 a 11.23	1.57 a 9.43	6.74 a 11.23	1.57 a 4.72	3.37 a 7.86
Velocidade mínima (m/s)	10							

Quadro 2.37-Verificação das tubagens atuais circulares da zona central da linha 16/17 à linha 18 para a situação futura de exaustão

Parâmetros	Linha 16/17				Linha 18			
	Esquerda		Direita		Esquerda		Direita	
Caudal (m ³ /h)	400 a 1200	1200 a 2400	400 a 2800	2800 a 6400	400 a 800	800 a 2000	400 a 800	800 a 1600
Diâmetro (mm)	300	355	300	355	300	355	300	355
Distância (m)	3.51	8.03	7.48	9.46	3.71	8.75	5.40	9.62
Velocidade calculada (m/s)	1.57 a 4.72	3.37 a 6.74	1.57 a 11.00	7.86 a 17.96	1.57 a 3.14	2.25 a 5.61	1.57 a 3.14	2.25 a 4.49
Velocidade mínima (m/s)	10							

À semelhança com a situação atual, pode-se concluir que, também na situação futura, praticamente todos os troços são demasiado grandes, pelo que se recomenda também a sua substituição por outras de menor diâmetro.

Em segundo lugar, foram verificadas as tubagens retangulares localizadas na zona central, de acordo com o Quadro 2.38.

Quadro 2.38-Verificação das tubagens atuais retangulares da zona central para a situação futura

Parâmetros	Linha 1	Linha 2/3	Linha 4/5	Linha 6/7	Linha 8/9	Linha 10/11	Linha 12/13	Linha 14/15	Linha 16/17	Linha 18
Caudal (m ³ /h)	3600	7600	7600	8000	8800	9600	7200	6800	8800	3600
Seção (mm)	600 mm X 300 mm									
Área (m ²)	0.180									
Distância (m)	29.15	23.0	18.74	10.0	4.31	6.58	10.21	16.60	10.26	27.40
Velocidade calculada (m/s)	5.56	11.73	11.73	12.35	13.58	14.81	11.11	10.49	13.58	5.56
Velocidade mínima (m/s)	10									

Também à semelhança com a situação atual, as condutas retangulares existentes são suficientes para garantir velocidades superiores a 10 m/s.

2.4.2 Capacidade do Sistema de Exaustão Existente

Tendo em conta os resultados obtidos no subcapítulo anterior, em que se realizou uma análise do atual sistema de exaustão para o cenário atual (todas as zonas de operação se encontram unidas), verificou-se que nenhuma das torres de exaustão apresentava capacidade para corresponder ao pretendido.

Deste modo, importa verificar quais das torres de exaustão pode apresentar capacidade para receber apenas as ligações às linhas de exaustão das máquinas da zona central.

Nos Quadros 2.39 e 2.40, apresentam-se as características de exaustão que cada circuito exige.

Quadro 2.39-Caudais de cálculo de exaustão da zona central

Linhas de Exaustão	12/13	16/17	10/11	18	6/7	8/9	1	2/3	4/5	14/15
Caudal de cálculo (m³/h)	7200	8800	9600	3600	8000	8800	3600	7600	7600	6800
	16000		13200		16800		11200		14400	

Quadro 2.40-Perdas de pressão dos circuitos da zona central

Perda de Pressão	Linha 1	Linha 2/3	Linha 4/5	Linha 6/7	Linha 8/9	Linha 10/11	Linha 12/13	Linha 14/15	Linha 16/17	Linha 18
Perdas de pressão na filtração (Pa)	750									
Distâncias (m)	52.65	46.05	43.10	34.0	28.10	30.0	33.45	41.0	36.20	51.42
Perdas de pressão contínuas (Pa)	555.25	274.82	251.23	259.55	239.91	247.04	242.55	245.90	277.96	555.45
Perdas de pressão localizadas (Pa)	111.05	54.96	50.25	51.91	47.98	49.41	48.51	49.18	55.59	111.09
Perdas de pressão traçados (Pa)	666.30	329.79	301.48	311.46	287.90	296.44	291.06	295.08	333.56	666.54
Perda Total (Pa)	1416.3	1079.8	1051.5	1061.5	1037.9	1046.4	1041.1	1045.1	1083.6	1416.5

A partir destes cálculos, obteve-se a síntese no Quadro 2.41, na qual contempla os valores dos caudais de cálculo e pressões necessárias para verificar as condições de funcionamento dos ventiladores das torres para o cenário futuro de exaustão.

Quadro 2.41-Caudais de cálculo e pressões estáticas dos ventiladores para a extração da zona central

Torres	1		2		3		4		5	
Linhas de Exaustão	12/13	16/17	10/11	18	6/7	8/9	1	2/3	4/5	14/15
Caudal de cálculo (m³/h)	7200	8800	9600	3600	8000	8800	3600	7600	7600	6800
	16000		13200		16800		11200		14400	
Pressão estática (Pa)	1041.1	1083.6	1046.4	1416.5	1061.5	1037.9	1416.3	1079.8	1051.5	1045.1
	1083.6		1416.5		1061.5		1416.3		1051.5	

Para consultar estes pontos de funcionamento na curva característica do ventilador, para cada torre de exaustão, é necessário ainda calcular e considerar a pressão total.

De acordo com a curva característica do ventilador, não é possível achar os pontos de funcionamento das torres 1, 3 e 5, uma vez que os respetivos caudais são bastante superiores ao caudal máximo possível deste ventilador.

Contudo, tanto a torre 2 como a torre 4 apresentam pontos possíveis na curva, sendo necessário verificar se existe uma pressão negativa o suficiente no final dos respetivos troços desfavoráveis, de acordo com a Figura 2.23.

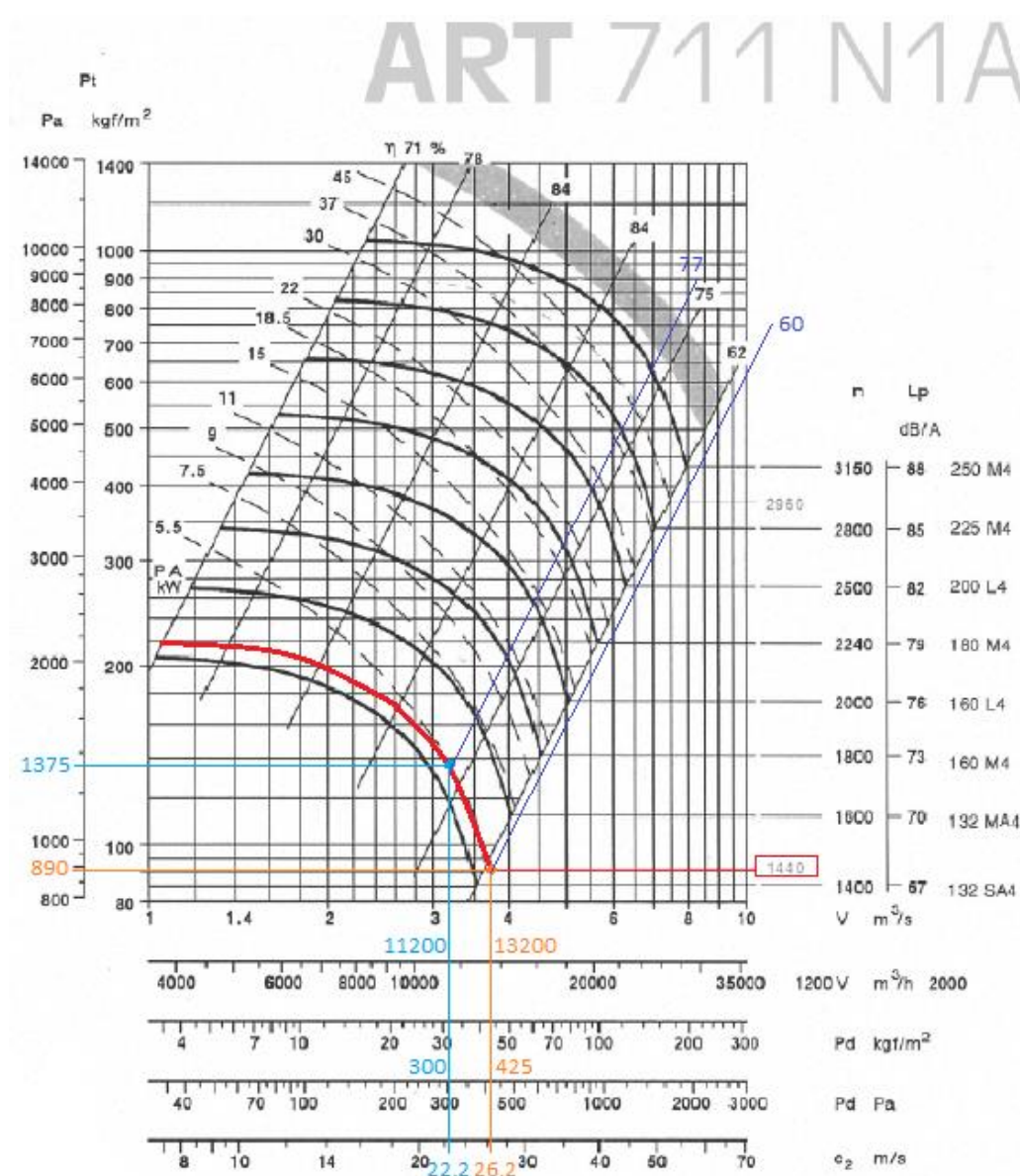


Figura 2.23- Identificação dos pontos de funcionamento possíveis dos ventiladores das torres para a exaustão da zona central

De acordo com os pontos identificados na última figura, verificam-se as características representadas no Quadro 2.42.

Quadro 2.42- Características dos pontos de funcionamento possíveis dos ventiladores das torres para a exaustão da zona central

Caraterísticas dos pontos	Torre 2	Torre 4
Caudal (m³/h)	13200	11200
Velocidade (m/s)	26.20	22.20
Pressão dinâmica (Pa)	425	300
Pressão total (Pa)	890	1375
Pressão estática (Pa)	465	1075
Rendimento (%)	60	77

De acordo com os dados retirados da curva característica, pode-se concluir os seguintes pontos:

- Torre 2: a pressão estática da curva característica é bastante inferior à pressão calculada de 1416.50 Pa, pelo que não é possível garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável desta torre
- Torre 4: a pressão estática da curva característica é inferior à pressão calculada de 1416.30 Pa, pelo que não é possível garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável desta torre

De acordo com estas conclusões, não é possível aproveitar nenhuma das torres de acordo com as condições consideradas, uma vez que os atuais ventiladores apresentam uma capacidade insuficiente para as exigências calculadas.

Deste modo, pelo que se tem vindo a comprovar neste capítulo, justifica-se a alteração destas torres de exaustão, que irão receber apenas as névoas das máquinas existentes na zona central, através da substituição dos equipamentos atuais, nomeadamente moto-ventiladores e filtros, por outros mais potentes e com maior capacidade de fluxo, respetivamente. Também se coloca a opção da substituição total das torres por unidades completas de filtração.

A exaustão da zona da montagem e das células deve ser assegurada por novas unidades de filtração com os equipamentos adequados para as exigências consideradas.

Ambas as soluções para as três zonas serão estudadas no próximo capítulo do presente trabalho.

3 SOLUÇÕES PROPOSTAS

Este capítulo consiste na apresentação de soluções para melhorar a exaustão das máquinas existentes nas três zonas de operação e implementar um novo sistema de exaustão para as novas máquinas que chegam com as novas células. Todas as soluções devem respeitar as especificações técnicas especiais descritas no capítulo anterior.

Numa primeira etapa do presente capítulo é realizada uma caracterização do espaço físico de expansão e das máquinas das novas células, sendo que depois é apresentado o dimensionamento completo do sistema que deve ser implementado.

Numa segunda etapa é apresentada as soluções de melhoria para o atual sistema de exaustão, para colmatar as deficiências e problemas encontrados no capítulo anterior, em termos de alteração de tubagens, aquisição e instalação de novos equipamentos e a possibilidade de aproveitamento das torres de exaustão.

No âmbito dos objetivos principais do trabalho, prevê-se a separação física dos ramais de exaustão das três zonas de operação, de forma que cada zona possua um sistema de filtração e ventilação forçada com segregação independente das condutas de exaustão.

Numa terceira etapa é apresentada e descrita o funcionamento do novo sistema de exaustão que será implementado, de acordo com as soluções propostas nas etapas anteriores deste capítulo, e explicado ainda o tipo de funcionamento do sistema, de acordo com os equipamentos a serem instalados, assim como a sua monitorização, controlo e manutenção.

As soluções propostas neste capítulo estão representadas nas peças desenhadas no Anexo I.

3.1 Implementação do Sistema de Exaustão para as Novas Células

3.1.1 Caracterização e Especificações Técnicas do Sistema

De acordo com o grupo Schaeffler Portugal, os departamentos da produção e manutenção têm um “*layout*” novo da zona das células, que engloba uma expansão da zona de produção das células, na zona assinalada com um retângulo vermelho, na Figura 3.1.

Esta zona de expansão, anteriormente destinada para armazém geral, é uma zona aberta que foi disponibilizada propositadamente para receber novas máquinas das células que foram encomendadas da Alemanha.



Figura 3.1- Identificação da zona de expansão das novas células

Através da figura anterior é possível analisar, identificar e localizar cada célula:

- Célula RK1: localizada entre a linha 10 a 11
- Célula RK4: localizada entre a linha 6 a 9
- Célula RK3: localizada entre a linha 2 e 5
- Célula RK2: localizada entre a linha 1 e 4

Na Figura 3.2 encontra-se a ampliação dessa zona de expansão, estando disponível no Anexo IV.

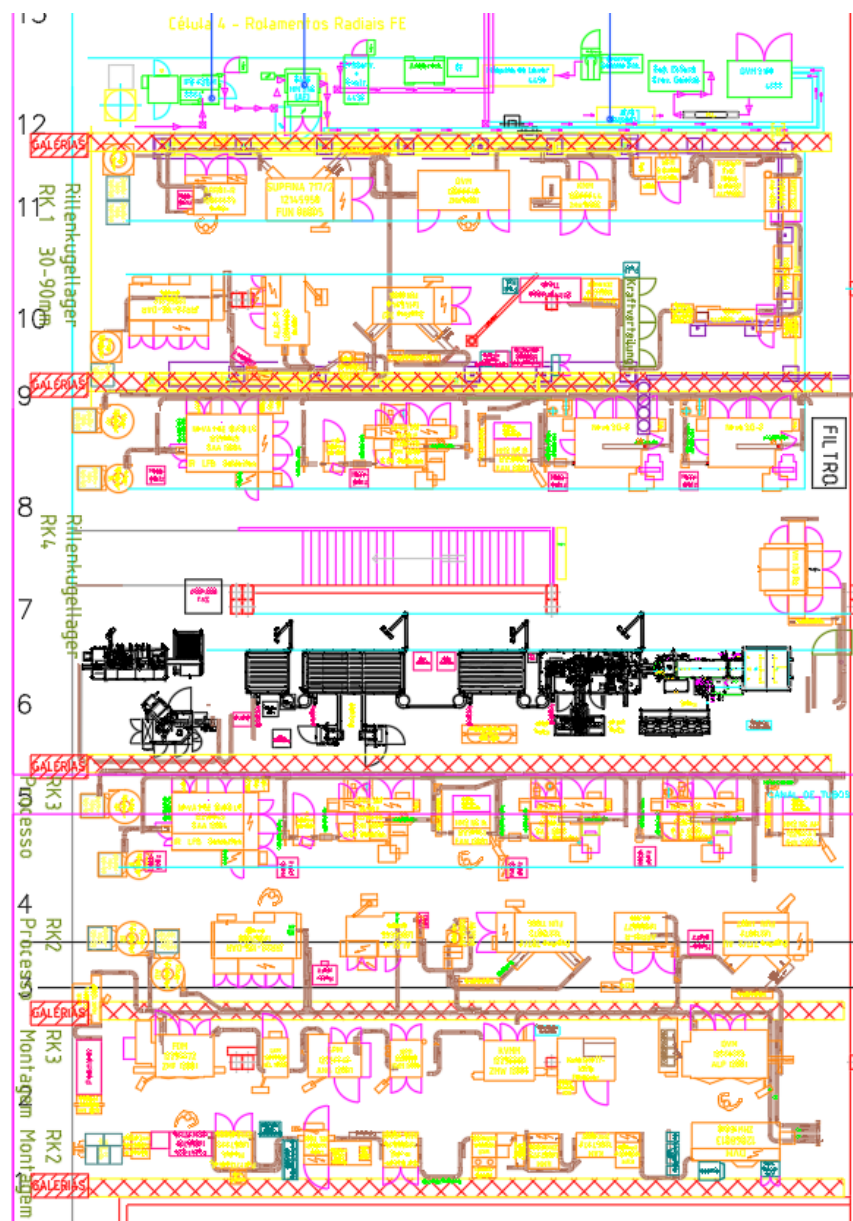


Figura 3.2- Identificação da disposição das novas células e respetiva localização das máquinas

A tipologia deste tipo de máquinas é similar às máquinas das células existentes, em termos de funções e fluidos de trabalho para os processos de retificação, super-acabamento e lavagem, sendo que a diferença está no tamanho das novas máquinas que são ainda maiores.

As caraterísticas das máquinas das novas células encontram-se resumidas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1- Caudais tipo de exaustão das máquinas das novas células

Novas Células	Máquinas	Processo	Tipo de Fluido	Caudal (m³/h)
RK1	Máquinas de Lavar	Lavagem	EXXS	200
RK2	Outras	Retificação Super-acabamento	EMS	1200
RK3			VRC	
RK4			HNL	

Em termos de velocidades de exaustão, as mesmas máquinas devem cumprir uma velocidade mínima de 12 m/s na picagem, à exceção das máquinas de lavar que devem cumprir 6 m/s.

Os caudais de exaustão das máquinas, em cada célula, estão indicados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2- Caudais de exaustão das máquinas das novas células

Zona Células	RK 1		RK 4		RK2		RK3	
	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal	Número	Caudal
Máquinas	und	m3/h	und	m3/h	und	m3/h	und	m3/h
AFS 5-40	-	-	-	-	-	-	-	-
IRR 2 SD	1	1200	-	-	1	1200	-	-
Supfina 717/2	1	1200	-	-	2	2400	-	-
Supfina 707	1	1200	-	-	-	-	-	-
Máq. Lavar	2	400	2	400	2	400	4	800
ALS1-C	1	1200	-	-	1	1200	-	-
IFS 62 BM	-	-	-	-	-	-	-	-
Nova 2G-JP	-	-	-	-	-	-	-	-
Nova PGE	-	-	1	1200	-	-	1	1200
Nova 2GP	-	-	1	1200	-	-	3	3600
Nova 2G-S	-	-	2	2400	-	-	-	-
MIG - 75	-	-	-	-	-	-	-	-
Arro	1	1200	-	-	1	1200	-	-
Thiel KM 85	-	-	-	-	-	-	-	-
Thiel KM 90	-	-	-	-	-	-	-	-
HM 2 NC	-	-	1	1200	-	-	2	2400
VH	-	-	1	1200	-	-	-	-
TOTAL p/ Linha	7	6400	8	7600	7	6400	10	8000

Com esta expansão, na zona das células, o número total de conexões necessárias para o sistema de exaustão aumenta de 16 para 48 máquinas, representado um acréscimo de 32 máquinas.

No Quadro 3.3 está representada a comparação entre o cenário atual e o cenário futuro do sistema de exaustão, tendo em conta este aumento de máquinas na zona das células.

Quadro 3.3- Número de máquinas e respetivos caudais de cálculo para as zonas de operação, tendo em conta a inserção das novas células

Zonas Operação	Atual		Futuro	
	Máquinas	Caudal	Máquinas	Caudal
	und	m3/h	und	m3/h
Central	161	71600	161	71600
Montagem	42	8400	42	8400
Células	16	11000	48	39400
TOTAL	219	91000	251	119400

Em termos de perdas de carga, mantém-se que as perdas de carga localizadas constituem 20% das perdas de carga contínuas, em concordância com os pressupostos do capítulo anterior.

3.1.2 Tubagens de Exaustão

Em primeiro lugar, foi dimensionado o diâmetro das picagens destas máquinas, através do Quadro 3.4, considerando os caudais individuais anteriormente definidos, e respeitando as velocidades mínimas de exaustão para cada tipo de máquina.

Quadro 3.4- Dimensionamento das tubagens individuais de exaustão das máquinas das novas células

Máquinas da Zona das Células RK's	Caudal (m³/h)	Diâmetro (mm)	Área Seção (m²)	Velocidade calculada (m/s)	Velocidade mínima (m/s)
Todas (máquinas de retificação e acabamento)	1200	DN 150	0.018	18.50	12
Máquinas lavar	200	DN 100	0.008	6.95	6

Em segundo lugar, foi dimensionado as tubagens principais que recolhem as névoas das picagens e direcionam para as unidades de filtração.

De acordo com a zona de expansão e analisando as galerias (guias estruturais que acompanham a disposição das máquinas e que suportam as tubagens de alimentação e retorno dos fluidos e ainda suportam a alimentação elétrica e as tubagens de exaustão), identificadas na Figura 3.2, propôs-se a disposição das principais condutas de exaustão:

- Célula RK1 – Linha 11: exaustão entre linha 11 e 12 (exaustão partilhada com as máquinas da célula 4)
- Célula RK1 – Linha 10: exaustão na linha 9
- Célula RK4 – Linha 8: exaustão na linha 9
- Célula RK3 Processo – Linha 5: exaustão na linha 5
- Célula RK2 Processo + RK3/RK2 Montagem – Linha 1/2/4: exaustão na linha 3

Deste modo, a exaustão da primeira fila da RK1 fica ligada à conduta de exaustão que recebe a segunda linha da célula 4, sendo que este dimensionamento será feito no próximo subcapítulo.

A exaustão da segunda linha da RK1 e toda a RK4 são partilhadas por uma única conduta.

Para a linha de processo da célula RK3 está previsto uma conduta única para essa parte, sendo que a exaustão do processo da RK2 e da montagem da RK3 e RK2 são partilhadas por outra conduta.

Estas soluções de exaustão estão representadas pelo seguinte esquema de exaustão (Figura 3.3).

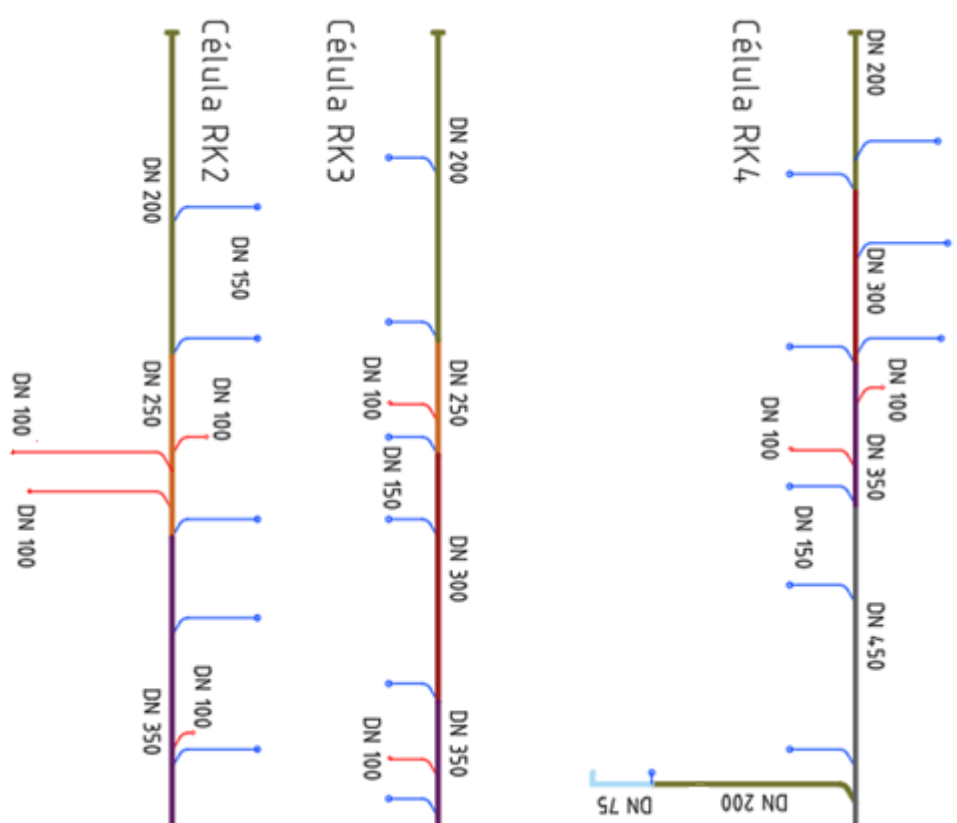


Figura 3.3- Esquema do traçado de exaustão das novas células

Em simultâneo, foram dimensionadas as condutas de exaustão a partir dos Quadros 3.5 ao 3.7.

Quadro 3.5- Dimensionamento das tubagens principais circulares da linha das células RK1/RK4

Parâmetros	Linha das células RK1 e RK4				
Caudal (m ³ /h)	200	1200	2400 a 4800	6000 a 6400	7600 a 11400
Diâmetro (mm)	DN 75	DN 200	DN 300	DN 350	DN 450
Distância (m)	2.0	1.0	5.25	4.25	11.47
Velocidade calculada (m/s)	12.58	10.61	10 a 18.86	17.32 a 18.48	13.27 a 19.91
Velocidade mínima (m/s)	10				

Quadro 3.6- Dimensionamento das tubagens principais circulares da linha da célula RK3

Parâmetros	RK3			
Caudal (m ³ /h)	1200	2400 a 2600	3800 a 5000	6200 a 7600
Diâmetro (mm)	DN 200	DN 250	DN 300	DN 350
Distância (m)	5.0	3.50	7.50	4.0
Velocidade calculada (m/s)	10.61	13.58 a 14.71	14.93 a 19.65	17.90 a 21.94
Velocidade mínima (m/s)	10			

Quadro 3.7- Dimensionamento das tubagens principais circulares da linha da célula RK2

Parâmetros	RK2		
Caudal (m ³ /h)	1200	2400 a 3000	4200 a 6800
Diâmetro (mm)	DN 200	DN 250	DN 350
Distância (m)	4.0	5.52	9.1
Velocidade calculada (m/s)	10.61	13.58 a 16.98	12.13 a 19.63
Velocidade mínima (m/s)	10		

Tendo em conta os cálculos anteriores, pode-se resumir as principais características das condutas no Quadro 3.8.

Quadro 3.8- Características das condutas principais das linhas de exaustão das novas células

Parâmetros	Célula RK1/RK4	RK3	RK2
Caudal (m ³ /h)	11400	7600	6800
Diâmetros (mm)	DN 75 a DN 450	DN 100 a DN 350	
Distâncias (m)	23.97	20.0	18.62

Atendendo aos objetivos propostos, as novas células devem possuir um sistema de exaustão em concordância com o esquema representado na Figura 3.4, sendo que o circuito de exaustão pode ser uma linha principal de uma célula ou um conjunto de linhas de exaustão de várias células.

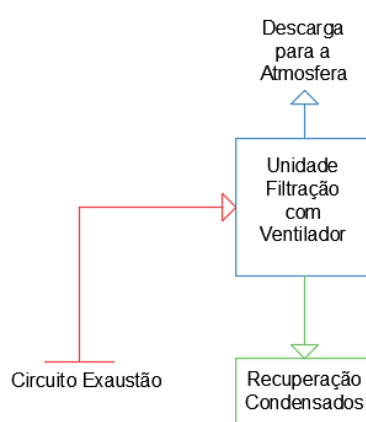


Figura 3.4- Esquema simplificado do sistema de exaustão para as novas células

Os coletores principais de cada célula devem recolher os vapores de exaustão de modo a que sejam diretamente direcionadas para os novos sistemas de filtração autónomos, designados por unidades “*stand-alone*”, através do ventilador incorporado.

Analisando a distribuição das condutas de exaustão das novas células, propõem-se a ligação da célula RK3 com a RK2, à semelhança do que acontece com as células RK1 (segunda linha) e RK4, de forma a implementar apenas duas unidades de filtração que vão ser colocadas na cobertura do edifício 1 da fábrica.

Neste sentido, a Figura 3.5 ilustra os traçados das condutas de exaustão de cada linha das células, que depois se ligam nas extremidades a condutas únicas, relativas aos conjuntos de exaustão referidos, seguindo finalmente para as unidades de filtração na cobertura.

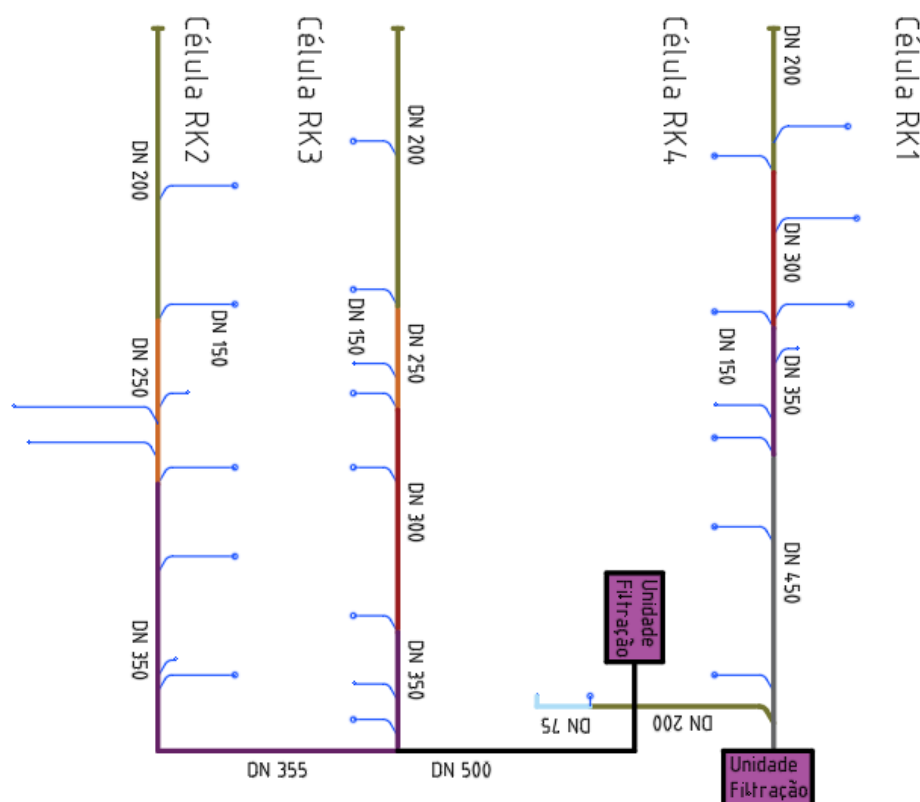


Figura 3.5- Esquema do novo sistema de exaustão e filtração para o conjunto das novas células

As condutas únicas de cada sistema de extração estão caracterizadas através do Quadro 3.9.

Quadro 3.9- Dimensionamento das tubagens de avanço para as unidades filtrantes do conjunto de células

Parâmetros das Células	RK1/RK4	RK3/RK2
Caudal (m³/h)	11400	14400
Diâmetro (mm)	DN 450	DN 500
Distância (m)	5.0	15.0
Velocidade calculada (m/s)	19.91	21.94
Velocidade mínima (m/s)	10	

3.1.3 Unidade de Filtração

O dimensionamento das unidades de filtração baseou-se no cumprimento dos seguintes requisitos:

- A condição ideal de funcionamento deve ser inferior à capacidade máxima da unidade, para garantir uma margem de segurança para os equipamentos de filtração e ventilador
- A capacidade de trabalho deve ser contínua 24 horas/dia durante o ano
- Os filtros devem ser recuperáveis por lavagem, desprezando a necessidade de substituição periódica

Neste sentido, foi possível dimensionar as unidades de filtração através do Quadro 3.10.

Quadro 3.10-Dimensionamento das unidades autónomas de filtração das novas células

Regimes de Funcionamento	Regime Ideal	Regime Máximo
	Caudal (m ³ /h)	
RK1/RK4	11400	maior ou igual a 11400
RK3/RK2	14400	maior ou igual a 14400

Deste modo, propõem-se as unidades OMF (Oil Mist Filters) da Nederman, uma vez que se tratam de névoas provenientes de uma mistura de óleos solúveis e inteiros, com as seguintes características representadas no Quadro 3.11.

Quadro 3.11-Caracterização das unidades autónomas de filtração para as novas células

Unidades Nederman	Modelo	Número de módulos	Capacidade máxima total (m ³ /h)	Pressão máximo serviço (Pa)	Estágios de filtração	Perda de pressão máxima (Pa)
RK1/RK4	OMF 4000	3	12000	3500	2	1400
RK3/RK2		4	16000			

Tendo em conta as características das unidades, verifica-se que as condições normais de funcionamento do sistema de exaustão das células RK1/RK4 e RK3/RK2 correspondem a cerca de 95 e 90 %, respetivamente, da capacidade máxima possível.

3.1.4 Ventilador de Exaustão

A eficiência da extração depende das perdas de pressão associadas a cada circuito, que dependem das características de cada seção do circuito, nomeadamente o caudal de exaustão, a dimensão da conduta e ainda as distâncias.

Deste modo, no dimensionamento do ventilador da unidade de filtração é necessário tanto o caudal de cálculo como a pressão estática que se deseja obter em cada conjunto de exaustão.

Estes cálculos foram realizados no sentido de se obter, para cada conjunto de exaustão, a máxima perda de carga, para se salvaguardar que o ventilador da unidade autónoma de filtração consiga garantir o ponto de funcionamento que depende dessa pressão estática e caudal.

No Quadro 3.12, a perda de carga total de cada circuito corresponde às perdas de carga nos traçados, desde o ponto mais desfavorável, onde se realiza a picagem da última máquina, até ao ponto de descarga do ventilador da unidade de filtração, localizada na cobertura.

Quadro 3.12-Perdas de pressão máximas nos novos circuitos das novas células

Parâmetros	RK1/RK4	RK3	RK2
Caudal de cálculo (m³/h)	11400	7600	6800
Diâmetros (mm)	DN 75 a DN 450	DN 100 a DN 350	
Distâncias (m)	26.97	35.0	41.62
Perdas de pressão contínuas (Pa)	181.30	304.67	347.58
Perdas de pressão localizadas (Pa)	36.26	60.93	69.52
Perda de carga total (Pa)	217.56	365.60	417.09
Caudal total (m³/h)	11400	14400	
Pressão estática (Pa)	217.56	417.09	

Contudo, no dimensionamento do ventilador, deve-se ter em conta que a pressão estática total deve ser o somatório das perdas de carga calculadas com a perda de carga máxima dos estágios filtrantes, neste caso 1400 Pa, de acordo com o Quadro 3.13.

Quadro 3.13-Pontos de funcionamento dos ventiladores para as novas células

Parâmetros	RK1/RK4	RK3/RK2
Caudal de cálculo (m³/h)	11400	14400
Perda de carga das tubagens (Pa)	217.56	417.09
Perda de carga da filtragem (Pa)	1400	
Pressão estática (Pa)	1617.56	1817.09

Os dados considerados, nomeadamente o caudal total e a pressão estática, correspondem ao ponto de funcionamento ideal, que traduz o regime de funcionamento para a qual o ventilador selecionado deve garantir exatamente o caudal e pelo menos a pressão estática calculada.

Para a correta seleção do ventilador deve-se ainda calcular a pressão dinâmica à entrada do ventilador no sentido de se calcular ainda a pressão total, de acordo com o caudal de cálculo.

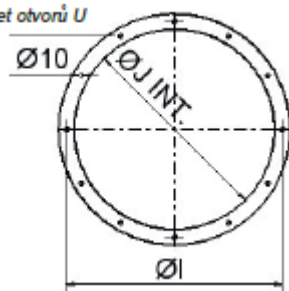
As pressões dinâmicas e totais foram calculadas pelas Equações 7 e 8:

$$P_t = P_{est} + P_{din} \quad (7)$$

$$P_{din} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{g} \quad (8)$$

Foram usados os diâmetros de entrada dos ventiladores que tivessem a curva características mais próxima do ponto de funcionamento, tal como indicado na Figura 3.6.

Počet otvorů U



SII	A	B	C	D1	D2	D3	D4	D5	E	F	G	H	I	J
160	200	112	180	310	286	286	339	339	231	240	255	164	192	161
180	224	125	202	340	313	313	372	372	258	269	285	170	212	181
200	252	141	228	376	346	346	412	412	291	303	321	178	232	203
224	282	158	255	413	380	380	454	454	325	339	358	186	263	227
250	318	178	287	458	420	420	503	503	365	381	403	219	299	254
280	356	200	299	495	465	465	560	560	410	427	452	230	319	284
315	400	224	361	563	511	511	620	620	456	486	508	242	349	317
355	448	251	405	620	570	570	688	688	515	538	565	271	387	360
400	503	282	455	694	633	633	765	765	578	605	639	286	438	404
450	565	316	510	770	703	703	850	850	648	678	716	337	538	454
500	634	355	572	858	780	780	950	950	725	761	803	342	600	504
560	711	402	641	950	870	870	1055	1055	815	853	895	407	670	565
630	798	446	720	1063	968	968	1177	1177	913	957	1008	423	750	635

Figura 3.6- Diâmetro de entrada para um ventilador F40-R400 e R450

No Quadro 3.14 apresenta-se os cálculos das pressões totais para os regimes anteriormente considerados.

Quadro 3.14-Cálculo das pressões totais dos novos sistemas de exaustão das células novas

Parâmetros	Regime Ideal	
	RK1/RK4	RK3/RK2
Caudal (m³/h)	11400	14400
Diâmetro entrada (mm)	404	454
Velocidade (m/s)	24.70	31.12
Pressão Estática (Pa)	1617.56	1817.09
Pressão Dinâmica (Pa)	344.48	344.65
Pressão Total (Pa)	1962.04	2161.74

De acordo com estes modelos, consegue-se marcar aproximadamente o ponto de funcionamento dos dois sistemas de exaustão nas curvas características respetivas, representadas pelas Figuras 3.7 e 3.8.

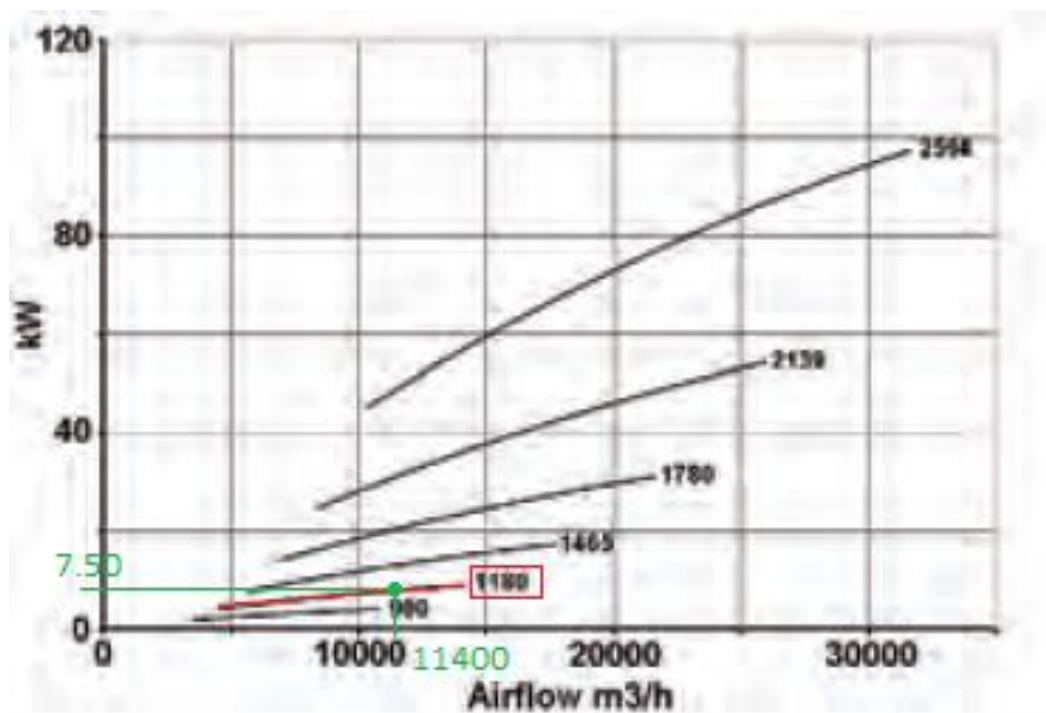
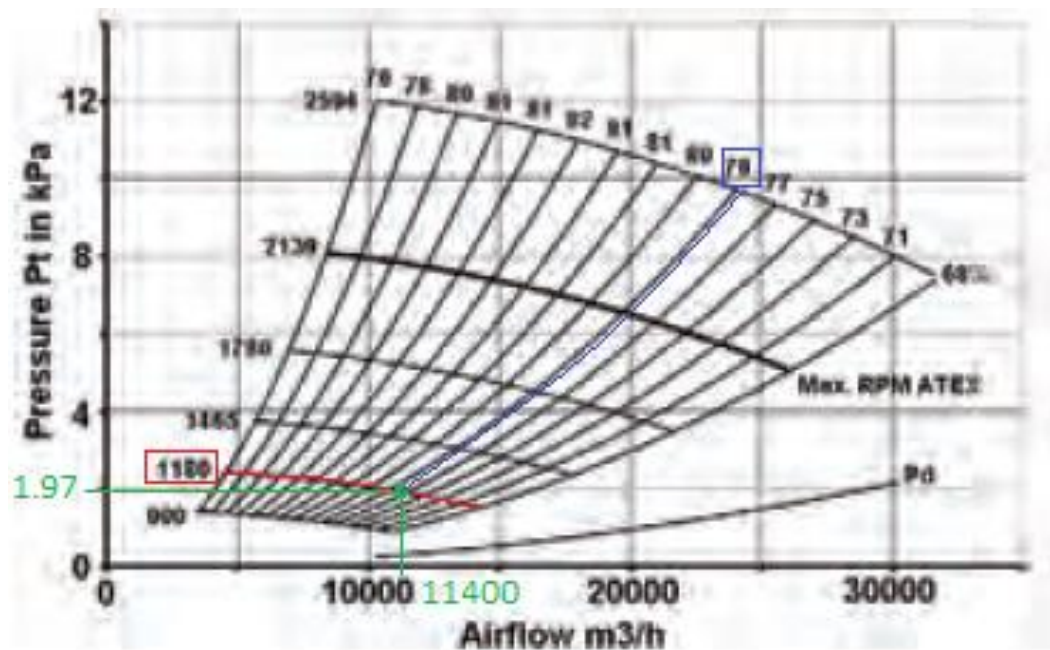


Figura 3.7- Curva caraterística e ponto de funcionamento do ventilador F40 R450

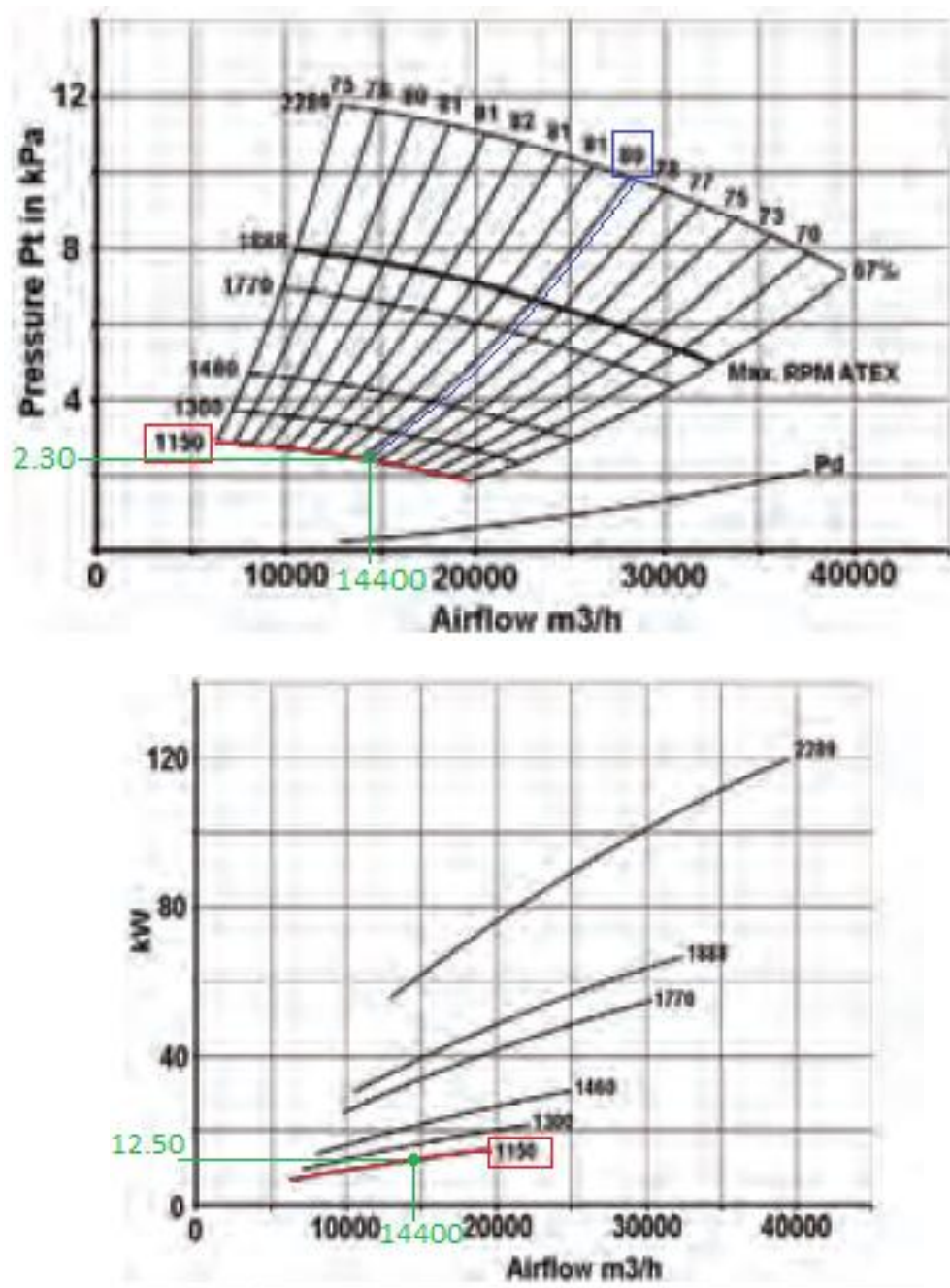


Figura 3.8- Curva característica e ponto de funcionamento do ventilador F40 R400

De acordo com estas curvas, identificaram-se os pontos de funcionamento e respectivas características dos ventiladores e motores, que estão indicadas no Quadro 3.15.

Quadro 3.15- Caracterização dos ventiladores e motores elétricos para a exaustão das células RK1/RK4 e RK3/RK2

Parâmetros	RK1/RK4	RK3/RK2
Ventilador	F40-R400	F40-R450
Impulsor	1180	1150
Caudal (m ³ /h)	11400	14400
Pressão Total (Pa)	1970	2300
Rendimento (%)	79	80
Potência motor (kW)	7.50	12.50

De acordo com os dados obtidos, pode-se concluir o seguinte:

- Para a exaustão das células RK1 e RK4, o ponto de funcionamento encontrado na curva do ventilador F40-R400 confere com o ponto de funcionamento calculado, representando um rendimento de 79%, encontrando-se próximo do rendimento máximo que se situa nos 82%
- Para a exaustão das células RK3 e RK2, o ponto de funcionamento encontrado na curva do ventilador F40-R450, apresenta uma pressão total que tem um acréscimo de apenas 6.04 % da pressão total calculada, representando um rendimento de 80%, encontrando-se próximo do rendimento máximo que se situa nos 82%

3.2 Melhoria do Sistema Atual de Exaustão nas Zonas da Montagem e Células

O dimensionamento do novo sistema de exaustão da montagem e células teve igualmente por base as especificações técnicas especiais definidas no anterior capítulo.

3.2.1 Tubagens de Exaustão

De acordo com a análise crítica ao atual sistema de exaustão das zonas da montagem e células, em termos de verificação das dimensões das condutas, propôs-se a substituição das tubagens, de acordo com as próximas tabelas, que não cumpriram com os requisitos das especificações.

Quadro 3.16- Substituição das tubagens da zona da montagem da linha 1 à linha 6/7

Parâmetros	Linha 1	Linha 2	Linha 1/2	Linha 6a	Linha 6	Linha 7	Linha 6/7
Caudal (m ³ /h)	200	200	800	200	400	200	1000
Diâmetro (mm)	100		150	100	100	100	150
Distância (m)	20.00	22.80	8.89	8.71	15.65	11.73	11.91
Velocidade calculada (m/s)	7.07		12.58	7.07	14.15	7.07	15.72
Velocidade mínima (m/s)	10						

Quadro 3.17-Substituição das tubagens da zona da montagem da linha 8 à linha 11

Parâmetros	Linha 8	Linha 9	Linha 10	Linha 11	Linha 10/11
Caudal (m³/h)	800	400	200	200	800
Diâmetro (mm)	150	100	100		150
Distância (m)	26.24	22.64	18.02	16.00	10.98
Velocidade calculada (m/s)	12.58	14.15	7.07		12.58
Velocidade mínima (m/s)	10				

Quadro 3.18-Substituição das tubagens da zona da montagem da linha 12 à linha 15

Parâmetros	Linha 12	Linha 13	Linha 14a	Linha 14	Linha 15	Linha 14/15
Caudal (m³/h)	600	1000	400	200		800
Diâmetro (mm)	150	150	100	100		150
Distância (m)	23.99	21	6.79	18.62	16.14	5.39
Velocidade calculada (m/s)	9.43	15.72	14.15	7.07		12.58
Velocidade mínima (m/s)	10					

Quadro 3.19-Substituição das tubagens da zona da montagem da linha 16 à linha 17

Parâmetros	Linha 16	Linha 17	Linha 16/17
Caudal (m³/h)	200		800
Diâmetro (mm)	100		150
Distância (m)	18.62	16.14	12.31
Velocidade calculada (m/s)	7.07		12.58
Velocidade mínima (m/s)	10		

Quadro 3.20-Substituição das tubagens da linha das células 1/2

Parâmetros	Linha das células 1 e 2			
Caudal (m³/h)	800	2000 a 3200	3600 a 4800	6000 a 7200
Diâmetro (mm)	DN 150	DN 250	DN 300	DN 350
Distância (m)	4.03	3.09	3.04	2.89
Velocidade calculada (m/s)	12.58	11.32 a 18.11	14.15 a 18.86	17.32 a 20.79
Velocidade mínima (m/s)	10			

Quadro 3.21-Substituição das tubagens da linha das células 2/4

Parâmetros	Linha das células 2 e 4		
Caudal (m³/h)	400	1600 a 2000	2400 a 2800
Diâmetro (mm)	DN 150	DN 200	DN 250
Distância (m)	3.57	4.89	3.11
Velocidade calculada (m/s)	14.15	14.15 a 17.68	13.58 a 15.84
Velocidade mínima (m/s)	10		

Quadro 3.22-Dimensionamento das tubagens da linha das células 4 e RK1

Parâmetros	Linha das células 4 e RK1	
Caudal (m³/h)	400	2000 a 3600
Diâmetro (mm)	DN 100	DN 250
Distância (m)	10.14	7.12
Velocidade (m/s)	14.15	11.32 a 20.37
Velocidade mínima (m/s)	10	

O novo sistema de exaustão da montagem e células devem ser totalmente independentes, principalmente da zona central, pelo que também deve estar em concordância com o esquema de exaustão anteriormente representado na Figura 3.4.

Relativamente à exaustão da zona da montagem, uma vez que todas as máquinas dessa zona, que necessitam de exaustão, trabalham com o mesmo tipo de fluido propõem-se a instalação de apenas uma unidade de filtração. Deste modo, todas as linhas principais da zona da montagem ligam-se a condutas transversais para direcionar os vapores de exaustão diretamente para a unidade que se encontra na cobertura.

Estas condutas transversais compõem duas condutas principais de exaustão, que recolhem aproximadamente as duas metades das áreas de exaustão da montagem, de acordo com a Figura 3.9.

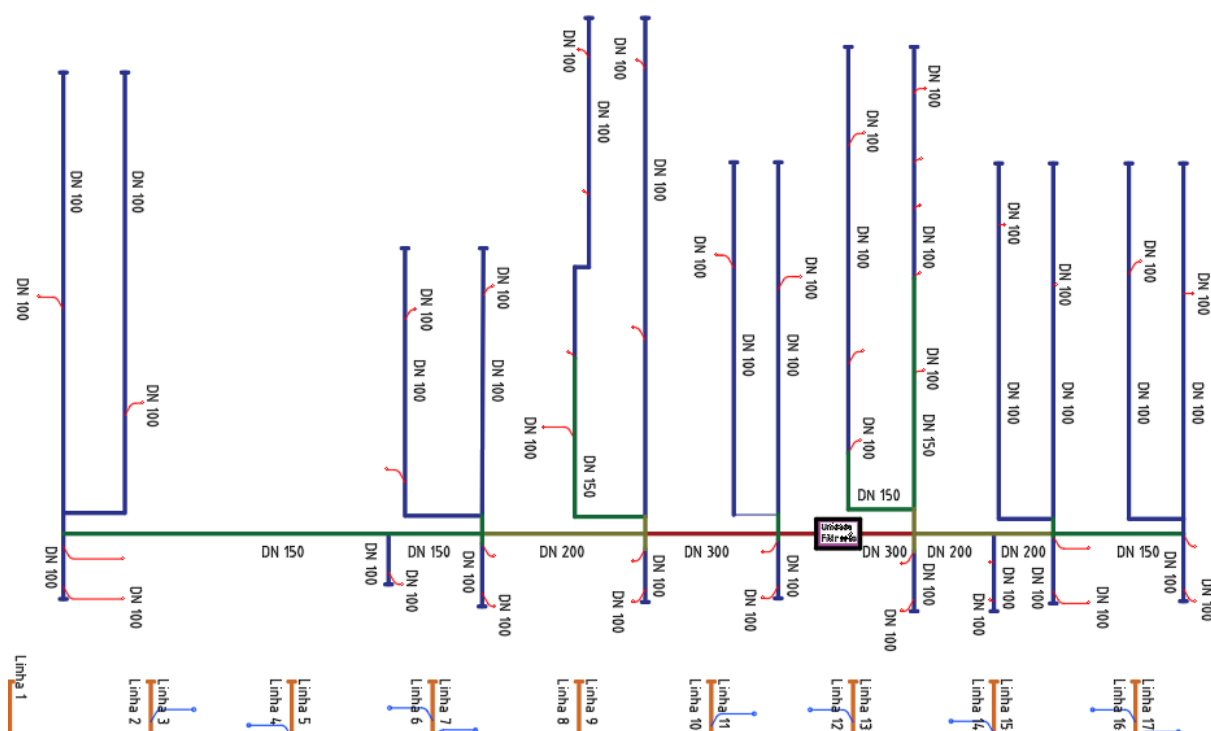


Figura 3.9- Novo sistema de exaustão e filtração da zona da montagem

De acordo com esta solução, as duas condutas principais transversais recebem as seguintes linhas de exaustão da zona da montagem, de acordo com o Quadro 3.23.

Quadro 3.23-Ligação das condutas transversais principais às linhas secundárias da montagem

Condutas	Linhas principais de exaustão das máquinas				
	Circuito 1	Circuito 2			
	Linha 1/2	Linha 6a	Linha 6/7	Linha 8/9	Linha 10/11
	Linha 16/17	Linha 14/15	Linha 14a	Linha 12/13	-

As características destas duas condutas principais encontram-se nos Quadros 3.24 e 3.25.

Quadro 3.24-Caraterísticas do novo circuito 1 de exaustão da zona da montagem

Circuito 1	Linha 1/2	Linha 6a	Linha 6/7	Linha 8/9	Linha 10/11
Caudal (m ³ /h)	800	1000	2000	3600	4400
Diâmetro (mm)	DN 150		DN 200	DN 300	
Distância (m)	19.03		7.41	11.76	
Velocidade calculada (m/s)	12.58	15.72	17.68	14.15	17.29
Velocidade mínima (m/s)	10				

Quadro 3.25-Caraterísticas do novo circuito 2 de exaustão da zona da montagem

Circuito 2	Linha 16/17	Linha 14/15	Linha 14a	Linha 12/13
Caudal (m ³ /h)	800	1600	2000	4000
Diâmetro (mm)	DN 150	DN 200		DN 300
Distância (m)	5.91	6.32		6.45
Velocidade calculada (m/s)	12.58	14.15	17.68	15.72
Velocidade mínima (m/s)	10			

Em termos gerais, o novo traçado de exaustão da montagem fica caracterizada pelo Quadro 3.26.

Quadro 3.26-Caraterização do novo sistema de exaustão da zona da montagem

Caraterísticas	Circuito 1	Circuito 2
Caudal (m ³ /h)	4400	4000
	8400	
Diâmetros (mm)	DN 150 a DN 300	
Distâncias (m)	38.20	18.68

Relativamente à exaustão da zona das células, analisando a distribuição das condutas principais de exaustão e respetivos caudais de exaustão, propôs-se a ligação das células 1, 2, 4 e RK1, de forma a implementar apenas uma unidade de filtração para englobar este conjunto.

Na Figura 3.10 está representado os traçados das condutas de exaustão de cada linha das células, que depois se ligam nas extremidades a uma conduta única, seguindo finalmente para as unidades de filtração na cobertura do edifício 1 da fábrica.

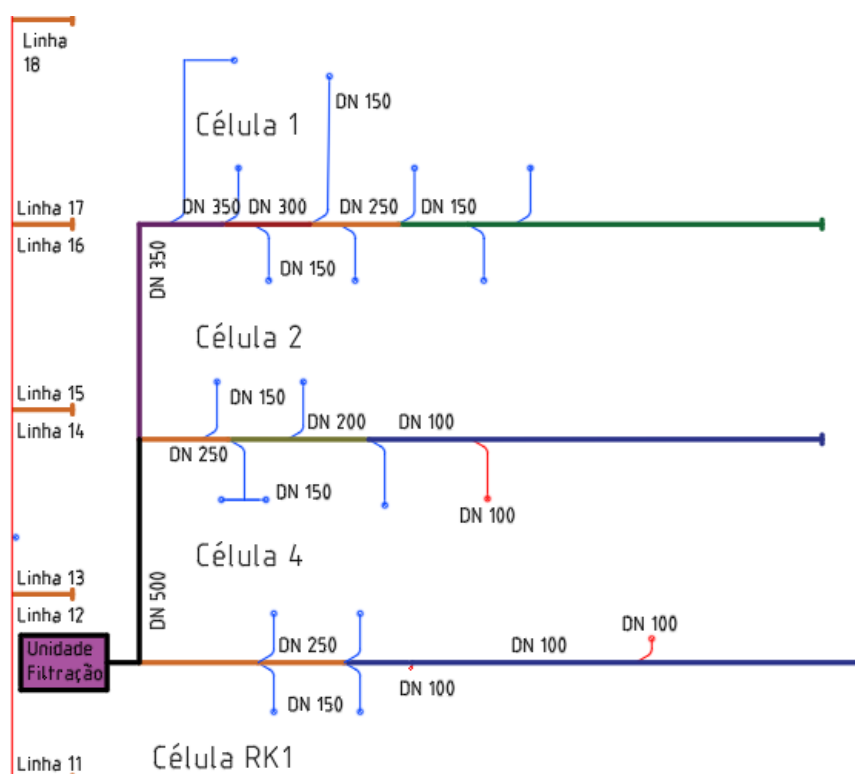


Figura 3.10- Esquema de exaustão para o conjunto das células existentes

Este traçado de exaustão do conjunto das linhas das células é caracterizado pelo Quadro 3.27.

Quadro 3.27-Dimensionamento da tubagem única de exaustão das células 1, 2, 4 e RK1

Conduta Única	Células 1/2 a 2/4	Células 2/4 a 4/RK1	Células 4/RK1 à Unidade
Caudal (m³/h)	7200	10000	13600
Diâmetro (mm)	DN 350	DN 500	
Distância (m)	7.46	7.74	6
Velocidade calculada (m/s)	20.79	14.15	19.24
Velocidade mínima (m/s)	10		

3.2.2 Unidades de Filtração

O dimensionamento das unidades da montagem e das células devem cumprir os mesmos requisitos definidos no subcapítulo anterior, aquando do dimensionamento das unidades das novas células. Deste modo, encontram-se no Quadro 3.28 os pressupostos de dimensionamento.

Quadro 3.28-Dimensionamento das unidades autónomas de filtração da zona da montagem e células

Caraterísticas	Regime Ideal	Regime Máximo
	Caudal (m³/h)	
Zona da Montagem - Circuito 1 e 2	8400	maior ou igual a 8400
Zona das Células - Células 1, 2, 4 e RK1	13600	maior ou igual a 13600

Deste modo, propôs-se as seguintes unidades OMF (Oil Mist Filters) da Nederman com as seguintes caraterísticas, representadas no Quadro 3.29.

Quadro 3.29- Caracterização das unidades autónomas de filtração para a zona da montagem e células

Unidades Nederman	Modelo	Número de módulos	Capacidade máxima total (m³/h)	Pressão máximo serviço (Pa)	Estágios de filtração	Perda de pressão máxima (Pa)
Montagem	OSF 3000	3	9000	3500	2	1400
1/2/4/RK1	OMF 4000	4	16000	3500	2	1400

Tendo em conta estes dados, verifica-se o seguinte:

- Condição normal de funcionamento do sistema de exaustão da zona da montagem corresponde a cerca de 93 % da capacidade máxima da unidade
- Condição normal de funcionamento do sistema de exaustão da zona das células existentes corresponde a cerca de 85 % da capacidade máxima da unidade

3.2.3 Ventiladores de Exaustão

No caso da zona da montagem, em que o traçado principal de exaustão deriva para os circuitos 1 e 2, calculou-se os traçados mais desfavoráveis de ambos os circuitos, de acordo com os Quadros 3.30 (montagem) e Quadro 3.31 (células).

Quadro 3.30- Perdas de pressão máximas nos novos circuitos da zona da montagem

Parâmetros	Circuito 1	Circuito 2
Caudal de cálculo (m³/h)	4400	4000
Diâmetros (mm)	DN 100 a DN 300	
Distâncias (m)	49.70	33.70
Perdas de pressão contínuas (Pa)	624.15	356.70
Perdas de pressão localizadas (Pa)	124.83	71.34
Perda de carga total (Pa)	748.98	428.03
Caudal total (m³/h)	8400	
Pressão estática (Pa)	748.98	

Quadro 3.31- Perdas de pressão máximas nos novos circuitos da zona das células existentes

Parâmetros	Célula 1/2	Célula 2/4	Célula 4/RK1
Caudal de cálculo (m³/h)	7200	2800	3600
Diâmetros (mm)	DN 150 a DN 350	DN 100 a DN 250	
Distâncias (m)	34.29	25.31	23.26
Perdas de pressão contínuas (Pa)	282.84	271.17	255.75
Perdas de pressão localizadas (Pa)	56.57	54.23	51.15
Perda de carga total (Pa)	339.41	325.40	306.90
Caudal total de cálculo (m³/h)	13600		
Pressão estática mínima (Pa)	339.41		

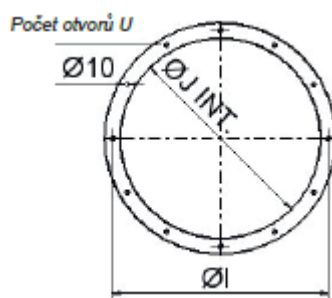
A pressão estática total deve ser o somatório das perdas de carga calculadas com a perda de carga máxima dos estágios filtrantes, que é 1400 Pa, sendo possível obter os dados principais para o dimensionamento dos ventiladores no Quadro 3.32.

Quadro 3.32-Pontos de funcionamento dos ventiladores para a exaustão da montagem e células

Parâmetros	Montagem	Células 1, 2, 4 e RK1
Caudal de cálculo (m³/h)	4400	13600
Perda de carga das tubagens (Pa)	748.98	339.41
Perda de carga da filtragem (Pa)	1400	
Pressão estática mínima (Pa)	2148.98	1739.41

O dimensionamento destes ventiladores com variador deve cumprir os mesmos requisitos definidos no subcapítulo anterior, no dimensionamento dos ventiladores das novas células.

Foram usados os diâmetros de entrada dos ventiladores que tivessem a curva características mais próxima do ponto de funcionamento, de acordo com a Figura 3.11 e Figura 3.12.



Stl	A	B	C	D1	D2	D3	D4	D5	E	F	G	H	I	J	O	P	P'	Q	Q'	T	U	V
160	200	112	180	310	286	286	339	339	231	240	255	164	192	161	26	116		73			6	
180	224	125	202	340	313	313	372	372	258	269	285	170	212	181	26	86		80			6	
200	252	141	228	376	346	346	412	412	291	303	321	178	232	203	26	94	95	87			6	
224	282	158	255	413	380	380	454	454	325	339	358	186	263	227	26	104	105	80	57	132	6	99
250	318	178	287	458	420	420	503	503	365	381	403	219	289	254	26	88	87	80	67	142	6	110
280	356	200	299	450	465	465	560	560	410	427	452	230	319	284	36	100		100	72	153	8	120
315	400	224	361	563	511	511	620	620	456	486	508	242	349	317	36	111		100	84	166	8	132
355	448	251	405	620	570	570	688	688	515	538	565	271	387	360	36	100	97	100	97	180	8	146
400	503	282	455	694	633	633	765	765	578	605	639	286	488	404	36	110	107	100	112	195	12	161
450	565	316	510	770	703	703	850	850	648	678	716	337	538	454	36	100	102	115	122	212	12	178
500	634	355	572	858	780	780	950	950	725	761	803	342	600	504	46	172		207		233	12	198
560	711	402	641	950	870	870	1055	1055	815	853	895	407	670	565	46	193		154	153	256	12	221
630	798	446	720	1063	968	968	1177	1177	913	957	1008	423	750	635	46	172		170		278	12	243

Figura 3.11- Diâmetro de entrada para um ventilador F40-R355

Stl	A	B	C	D1	D2	D3	D4	D5	E	F	G	H	I	J	O	P	P'	Q	Q'	T	U	V
224	222	197	211	334	292	292	380	380	237	236	279	207	263	227	26	86	85	80	77		6	
250	250	222	237	369	317	317	420	420	262	266	314	219	289	254	26	94		100	79		6	
280	280	249	266	407	354	354	484	484	299	298	352	232	319	284	36	108		100	97	178	8	145
315	315	280	299	450	390	390	514	514	335	335	395	248	349	317	36	119	120	80	82	193	8	160
355	352	314	335	497	430	430	569	569	375	375	442	281	387	360	36	100		100	80	211	8	177
450	445	395	421	612	528	528	703	703	473	472	557	328	488	454	36	124		80	102	252	12	218
500	500	444	473	676	585	585	782	782	530	530	621	352	538	504	36	109		100	97	276	12	242
560	560	498	530	755	645	645	870	870	595	595	700	392	600	565	36	101	102	110	109	303	12	269
630	628	558	595	840	717	717	968	968	662	667	785	409	670	635	36	113		101	102	333	12	299
710	705	627	668	931	802	802	1080	1080	747	749	876	519	750	715	46	193		173		369	12	334
800	791	703	750	1042	889	889	1204	1204	834	840	987	545	848	804	46	172		193		407	12	372
900	887	788	840	1162	995	995	1344	1344	940	942	1107	587	948	904	46	192		172		449	12	414

Figura 3.12- Diâmetro de entrada para um ventilador F56-R500

No Quadro 3.33 apresentam-se os cálculos das pressões totais para os regimes considerados.

Quadro 3.33-Cálculo das pressões totais para os novos sistemas de exaustão da montagem e células

Parâmetros	Regime Ideal	
	Montagem	Células 1/2/4/RK1
Caudal (m³/h)	8400	13600
Diâmetro entrada (mm)	360	504
Velocidade (m/s)	22.92	18.94
Pressão Estática (Pa)	2148.98	1739.41
Pressão Dinâmica (Pa)	296.64	202.41
Pressão Total (Pa)	2445.62	1941.82

De acordo com estes modelos, consegue-se marcar o ponto de funcionamento dos sistemas de exaustão nas curvas características respectivas, indicadas pela Figura 3.13 e Figura 3.14.

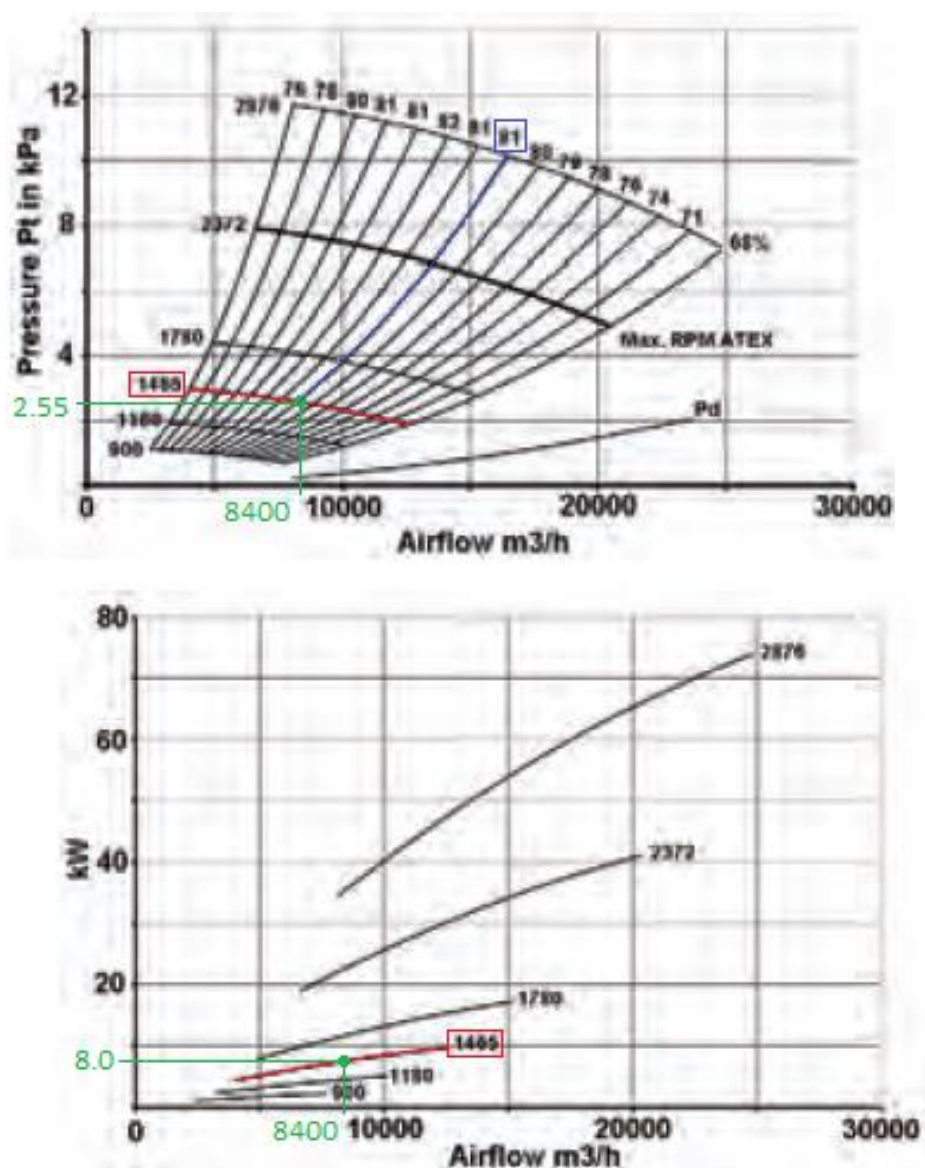


Figura 3.13- Curva característica e ponto de funcionamento do ventilador F40 R355

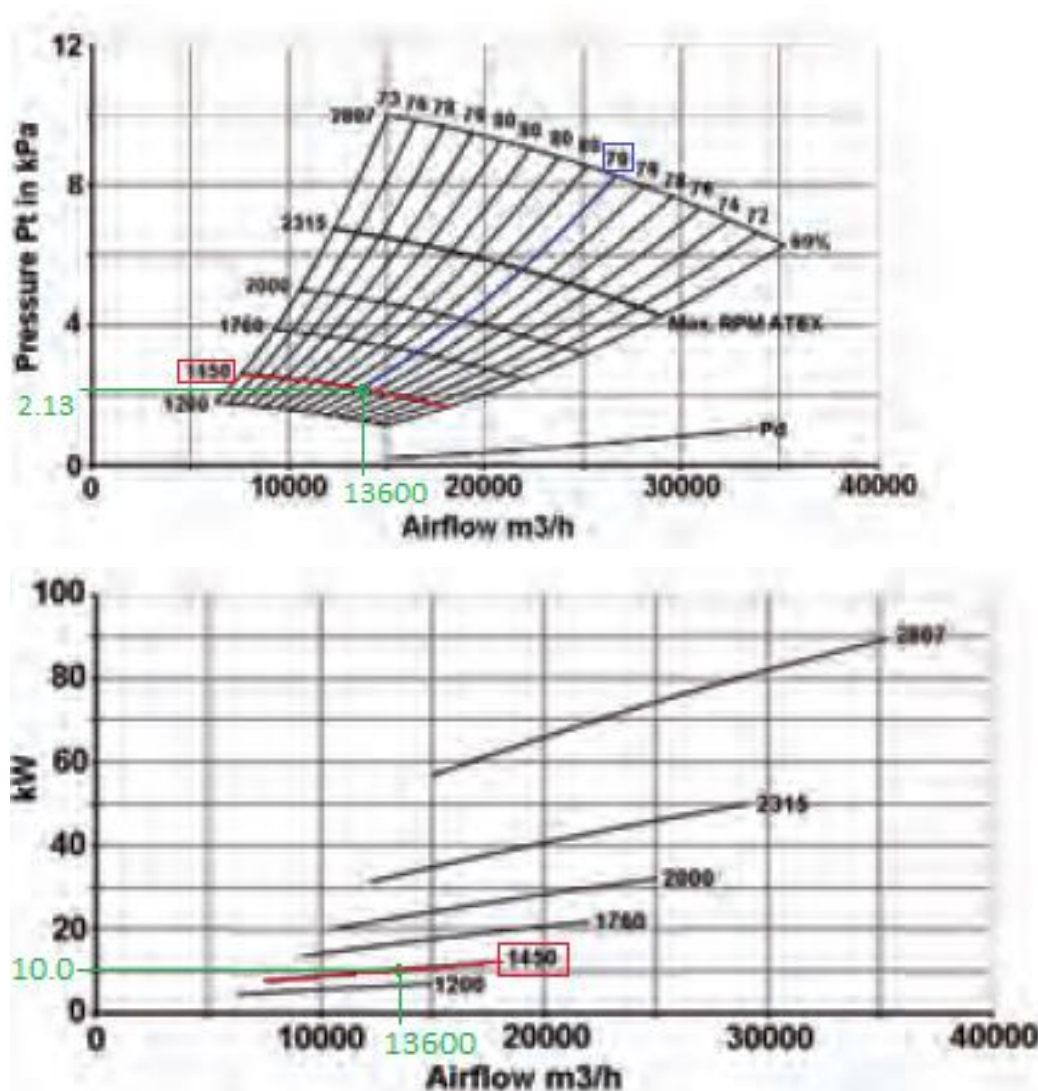


Figura 3.14- Curva característica e ponto de funcionamento do ventilador F56 R500

Deste modo, identificaram-se os seguintes pontos de funcionamento possíveis e respectivas características dos ventiladores e motores, de acordo com o Quadro 3.34.

Quadro 3.34- Caracterização dos ventiladores e motores elétricos para a exaustão da montagem e células

Parâmetros	Montagem	Células 1/2/4/RK1
Ventilador	F40-R355	F56-R500
Impulsor	1465	1450
Caudal (m³/h)	8400	13600
Pressão Total (Pa)	2550	2133
Rendimento (%)	81	79
Potência motor (kW)	8.0	10.0

De acordo com estes dados, foi possível comprovar o seguinte:

- Para a montagem, a pressão total corresponde aproximadamente a um acréscimo de 9.85% relativamente à pressão total calculada, representando um rendimento de 79% que se encontra bastante próximo do rendimento máximo que se situa nos 80%

- Para as células, a pressão total corresponde aproximadamente a um acréscimo de 5% relativamente à pressão total calculada, representando um rendimento de 81% que se encontra bastante próximo do rendimento máximo que se situa nos 82%

3.3 Melhoria do Sistema Atual de Exaustão na Zona Central

O dimensionamento do novo sistema de exaustão da zona central teve por base as especificações técnicas especiais definidas no anterior capítulo.

A análise crítica realizada ao atual sistema de exaustão da zona das células, no anterior capítulo, teve por base um cenário atual (ligação física das três zonas de operação) e ainda um cenário futuro, na qual se pretende a total separação física das redes de exaustão das zonas de operação.

Enquanto que para as zonas da montagem e células, foi proposto um sistema de exaustão novo (tubagens, filtração e ventiladores), no caso da zona central, o processo de melhoria corresponde à otimização e/ou implementação de novas soluções, encontrando-se relacionado com as verificações efetuadas para a situação futura de exaustão.

3.3.1 Tubagens de Exaustão

Nos Quadros 3.35 ao 3.44, apresenta-se o dimensionamento de novas tubagens, que se prevê substituírem aquelas que não cumpriram os requisitos mínimos.

Quadro 3.35-Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 1

Parâmetros	Linha 1			
	Esquerda		Direita	
Seção da Linha				
Caudal (m³/h)	400 a 1200	1200 a 1600	400 a 1200	1200 a 2000
Diâmetro (mm)	150	200	150	200
Distância (m)	7.50	4.96	7.12	7.38
Velocidade calculada (m/s)	6.29 a 18.86	10.61 a 14.15	6.29 a 18.86	10.61 a 17.68
Velocidade mínima (m/s)	10			

Quadro 3.36-Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 2/3

Parâmetros	Linha 2/3								
	Esquerda					Direita			
Seção da Linha									
Caudal (m³/h)	400 a 1200	1200 a 2000	2000 a 2800	2800 a 3600	3600 a 4000	400 a 1200	1200 a 2000	2000 a 2800	2800 a 3600
Diâmetro (mm)	150	200	250	300	350	150	200	250	300
Distância (m)	3.50	4.0	2.0	3.48	1.45	4.50	3.0	4.50	2.05
Velocidade calculada (m/s)	6.29 a 18.86	10.61 a 17.68	11.32 a 15.84	11.00 a 14.15	10.39 a 11.55	6.29 a 18.86	10.61 a 17.68	11.32 a 15.84	11.00 a 14.15
Velocidade mínima (m/s)	10								

Quadro 3.37-Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 4/5

Parâmetros	Linha 4/5					
Seção da Linha	Esquerda			Direita		
Caudal (m³/h)	400 a 1600	1600 a 3600	3600 a 4800	400 a 1200	1200 a 2000	2000 a 2800
Diâmetro (mm)	150	250	350	150	200	250
Distância (m)	3.50	7.0	4.86	3.50	3.50	4.12
Velocidade calculada (m/s)	6.29 a 25.15	9.05 a 20.37	10.39 a 13.86	6.29 a 18.86	10.61 a 17.68	11.32 a 15.84
Velocidade mínima (m/s)	10					

Quadro 3.38-Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 6/7

Parâmetros	Linha 6/7						
Seção da Linha	Esquerda				Direita		
Caudal (m³/h)	400 a 1200	1200 a 2400	2400 a 4000	4000 a 4400	400 a 1200	1200 a 2400	2400 a 3600
Diâmetro (mm)	150	200	300	350	150	200	300
Distância (m)	3.0	4.0	5.0	3.0	4.20	3.80	5.46
Velocidade calculada (m/s)	6.29 a 18.86	10.61 a 21.22	9.43 a 15.72	11.55 a 12.70	6.29 a 18.86	10.61 a 21.22	9.43 a 14.15
Velocidade mínima (m/s)	10						

Quadro 3.39-Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 8/9

Parâmetros	Linha 8/9						
Seção da Linha	Esquerda			Direita			
Caudal (m³/h)	400 a 1200	1200 a 2000	2000 a 2800	400 a 1200	1200 a 2800	2800 a 5200	5200 a 6000
Diâmetro (mm)	150	200	250	150	200	300	400
Distância (m)	2.50	2.0	5.69	2.50	3.0	6.74	2.55
Velocidade calculada (m/s)	6.29 a 18.86	10.61 a 17.68	11.32 a 15.84	6.29 a 18.86	10.61 a 24.76	11.00 a 20.43	11.49 a 13.26
Velocidade mínima (m/s)	10						

Quadro 3.40-Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 10/11

Parâmetros	Linha 10/11							
Seção da Linha	Esquerda				Direita			
Caudal (m³/h)	400 a 1200	1200 a 2000	2000 a 2800	2800 a 3600	400 a 1600	1600 a 3200	3200 a 4800	4800 a 6000
Diâmetro (mm)	150	200	250	300	150	200	300	350
Distância (m)	3.50	4.0	3.20	2.86	2.0	3.02	4.48	4.92
Velocidade calculada (m/s)	6.29 a 18.86	10.61 a 17.68	11.32 a 15.84	11.00 a 14.15	6.29 a 25.15	14.15 a 28.29	12.58 a 18.86	13.86 a 16.17
Velocidade mínima (m/s)	10							

Quadro 3.41-Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 12/13

Parâmetros	Linha 12/13						
Seção da Linha	Esquerda				Direita		
Caudal (m³/h)	400 a 1200	1200 a 2000	2000 a 2800	2800 a 3200	800 a 1200	1200 a 2400	2400 a 4000
Diâmetro (mm)	150	200	250	300	150	200	300
Distância (m)	3.50	4.0	3.50	2.74	3.0	4.5	6.74
Velocidade calculada (m/s)	6.29 a 18.86	10.61 a 17.68	11.32 a 15.84	11.00 a 12.58	12.58 a 18.86	10.61 a 21.22	9.43 a 15.72
Velocidade mínima (m/s)	10						

Quadro 3.42-Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 14/15

Parâmetros	Linha 14/15							
Seção da Linha	Esquerda					Direita		
Caudal (m³/h)	400 a 1200	1200 a 2400	2400 a 2800	2800 a 3600	3600 a 4000	400 a 1200	1200 a 2000	2000 a 2800
Diâmetro (mm)	150	200	250	300	350	150	200	250
Distância (m)	4.20	3.80	3.0	1.98	2.42	4.0	4.0	4.60
Velocidade calculada (m/s)	6.29 a 18.86	10.61 a 21.22	13.58 a 15.84	11.00 a 14.15	10.39 a 11.55	6.29 a 18.86	10.61 a 17.68	11.32 a 15.84
Velocidade mínima (m/s)	10							

Quadro 3.43-Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 16/17

Parâmetros	Linha 16/17						
Seção da Linha	Esquerda			Direita			
Caudal (m³/h)	400 a 1200	1200 a 2000	2000 a 2400	400 a 2400	2400 a 3000	4000 a 5200	5200 a 6400
Diâmetro (mm)	150	200	250	150	300	350	400
Distância (m)	3.0	5.50	3.04	4.0	5.0	4.0	3.94
Velocidade calculada (m/s)	6.29 a 18.86	10.61 a 17.68	11.32 a 13.58	6.29 a 37.73	9.43 a 15.72	11.55 a 15.01	11.49 a 14.15
Velocidade mínima (m/s)	10						

Quadro 3.44-Dimensionamento das tubagens circulares da zona central da linha 18

Parâmetros	Linha 18			
Seção da Linha	Esquerda		Direita	
Caudal (m³/h)	400 a 1200	1200 a 2000	400 a 1200	1200 a 1600
Diâmetro (mm)	150	200	150	200
Distância (m)	6.50	5.96	8.50	6.02
Velocidade calculada (m/s)	6.29 a 18.86	10.61 a 17.68	6.29 a 18.86	10.61 a 14.15
Velocidade mínima (m/s)	10			

Estas tubagens estão representadas na planta da zona central correspondente à Figura 3.15.

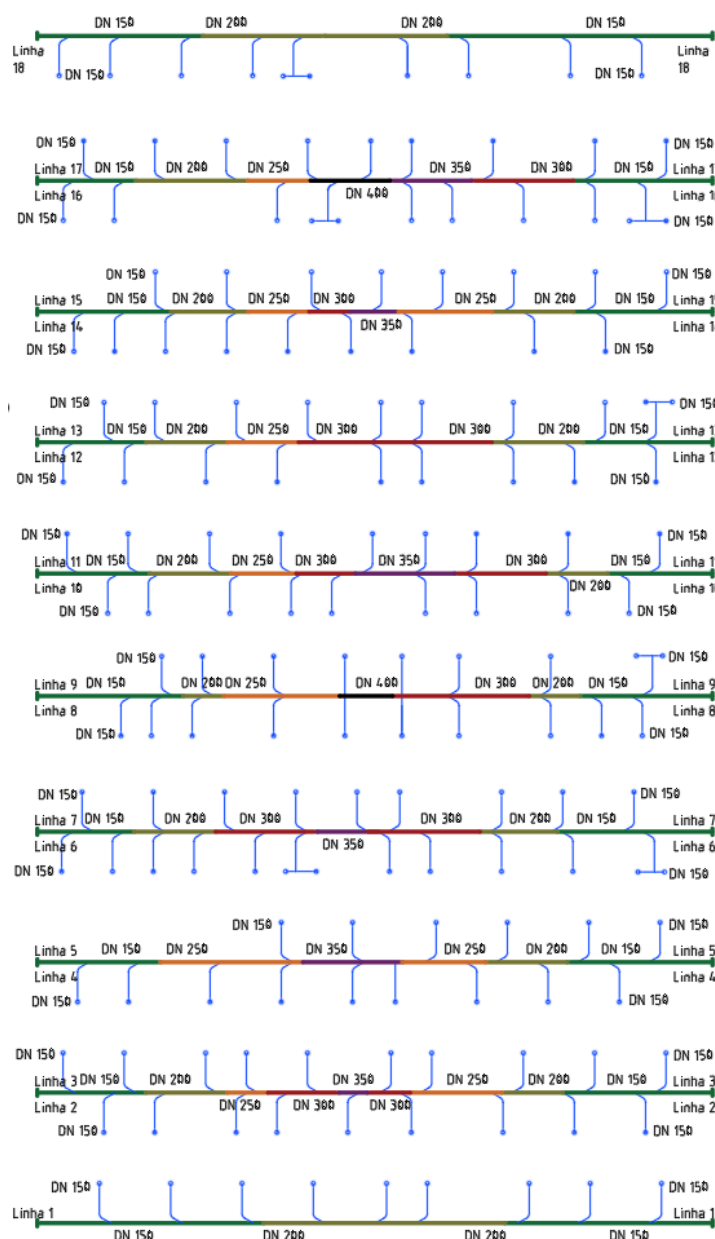


Figura 3.15- Planta das novas tubagens das condutas circulares da zona central

A correção das tubagens retangulares existentes está indicada no Quadro 3.45.

Quadro 3.45- Dimensionamento das tubagens retangulares da linha 1 e 18 na zona central

Parâmetros	Linha 1	Linha 18
Caudal (m ³ /h)	3600	3600
Seção (mm)	300 X 200	
Área (m ²)	0.06	
Distância (m)	34.79	23.75
Velocidade calculada (m/s)	16.67	16.67
Velocidade mínima (m/s)	10	

3.3.2 Unidades de Filtração

De acordo com as conclusões na avaliação da capacidade para o cenário futuro da zona central, justifica-se a alteração destas torres de exaustão, em termos de equipamentos mais potentes.

Contudo, o processo de alteração das atuais torres de exaustão apresenta vantagens e desvantagens, indicadas no Quadro 3.46.

Quadro 3.46-Prós e contras no investimento para otimização das torres de exaustão

Vantagens	Desvantagens
Implementação de moto-ventiladores de acoplamento direto com maior eficiência energética	Investimento de filtros com maior capacidade que não reutilizáveis nem laváveis
Sistema existente	Necessidade de alteração do quadro elétrico para implementar o variador de velocidade, caso necessário
-	Sistema com limitações em termos de espaço e características, o que encarece a aquisição de equipamentos “à medida”
	Sistema com deficiências estruturais, pintura e fugas de óleo para o pavimento da cobertura
	Sistema ultrapassado e gradualmente obsoleto

Deste modo, dada a condição do atual sistema das torres, e analisando os prós e contras, verifica-se em primeira instância que se justificaria a desativação total destas torres e substituição total por módulos de sistema autónomos de filtração similares aos apresentados para a exaustão da montagem e células.

Neste caso, em comparação com o sistema das torres da exaustão, as unidades autónomas apresentam as seguintes vantagens:

- Apresentam estágios de filtração laváveis, à exceção dos filtros tipo HEPA (aplicados no caso de a extração de ar limpo das unidades serem para o ambiente interior)
- Tratam-se de sistemas compactos de ventilação e filtração, podendo ser englobados em módulos de várias unidades
- Apresentam a possibilidade de englobar variador de velocidade integrado na unidade e ainda programação de comandos de arranque e paragem por registos automáticos
- Apresentam a possibilidade de integrar um programa de limpeza designado por “*clean flush*”, programável para realizar uma limpeza profunda das condutas, durante os períodos de manutenção ou paragem

Sabendo que a aquisição destas unidades implica um alto investimento para a empresa, que será recuperado de acordo com os respetivos períodos de retorno de cada aplicação, propõem-se, contudo, uma solução de aproveitamento das atuais torres de exaustão.

Esta opção é apenas válida para salvaguardar apenas e somente as linhas de exaustão retangulares da zona central que apresentam uma exigência de extração inferior à capacidade dos atuais moto-ventiladores das torres de exaustão.

De acordo com os resultados apresentados no capítulo 2.4, é apenas possível salvaguardar as perdas de pressão totais dos circuitos, reduzindo uma parcela dos caudais. Este cenário é apenas possível no caso da desativação de um circuito em cada torre de exaustão.

No Quadro 3.47 e Figura 3.16 está novamente representada as características atuais das condutas e torres de exaustão.

Quadro 3.47-Caudais totais de cálculo para exaustão da zona central

Torres	1		2		3		4		5	
Linhas de Exaustão	12/13	16/17	10/11	18	6/7	8/9	1	2/3	4/5	14/15
Caudal total (m³/h)	16000		13200		16800		11200		14400	
Pressão máxima (Pa)	1041.1	1083.6	1046.4	1416.5	1061.5	1037.9	1416.3	1079.8	1051.5	1045.1

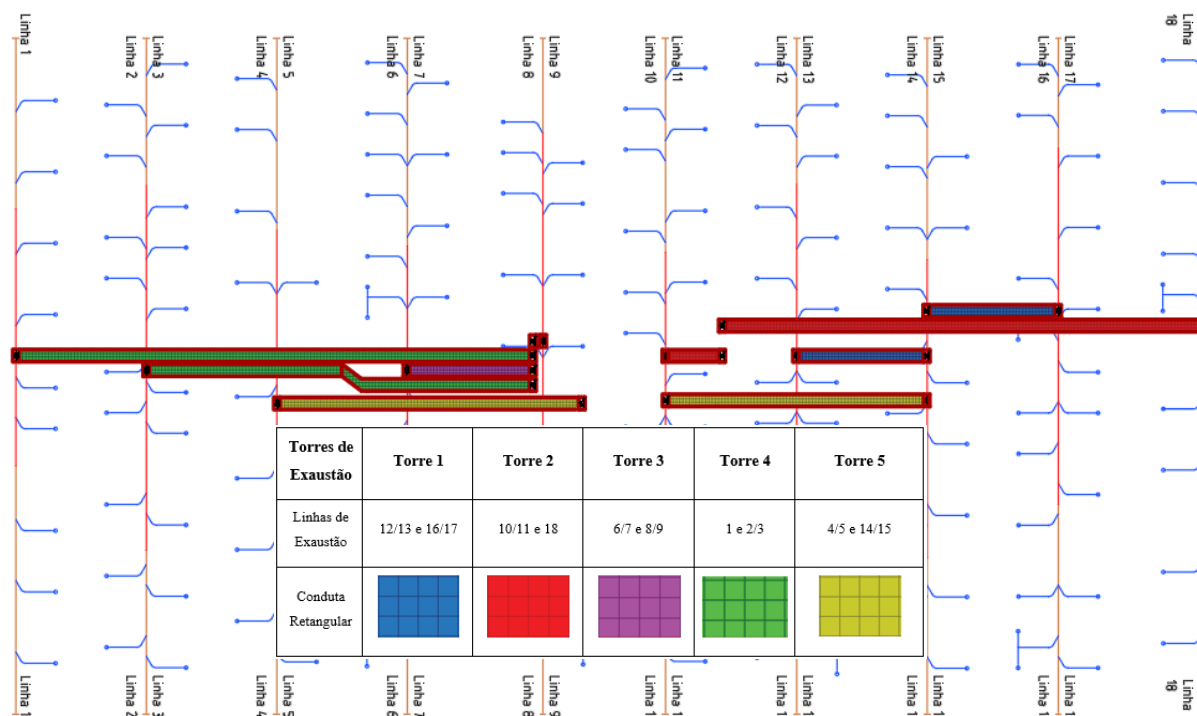


Figura 3.16- Atual distribuição das condutas retangulares da zona central e ligação às torres de exaustão

Analisando a posição das condutas retangulares e respectivas conexões às torres e comparando-se ainda as exigências de extração requeridas para cada linha, propôs-se alterações nas ligações das condutas às torres de exaustão, de acordo com a Figura 3.17 e Quadro 3.48.

Esta solução tem como objetivo que cada torre apresente um caudal mais próximo possível do caudal nominal de 8500 m³/h, na qual se verifica o máximo rendimento.

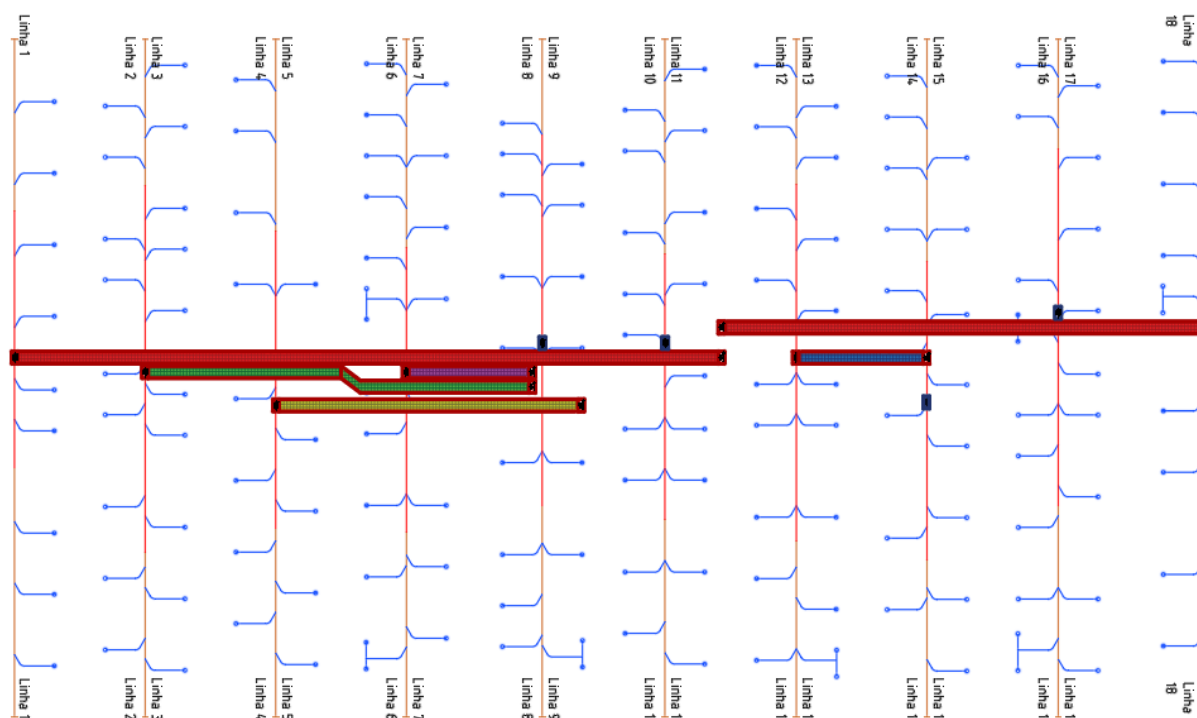


Figura 3.17- Novo esquema para alteração do sistema de exaustão da zona central

Praticamente, a mudança baseia-se apenas na desativação de uma coluna de filtração e respetiva tubagem retangular associada, por cada torre de exaustão, à exceção da torre 2 (engloba duas condutas retangulares) que vai aproveitar a ligação da outra coluna de filtração através do prolongamento da conduta retangular da linha 1.

As perdas de carga contínuas no Quadro 3.48 englobam os traçados para as novas tubagens circulares e retangulares com ligação já definida anteriormente às torres de exaustão.

Quadro 3.48-Alterações às condutas retangulares e nova ligação às torres de exaustão

Torres	1	2		3	4	5
Linhas de Exaustão	12/13	1	18	6/7	2/3	4/5
Caudais de cálculo (m³/h)	7200	3600	3600	8000	7600	7600
	7200	7200		8000	7600	7600
Perdas de pressão na filtração (Pa)	750					
Distâncias (m)	33.45	62.65	51.42	34.0	46.05	43.10
Perdas de pressão contínuas (Pa)	189.77	665.68	523.67	203.25	257.20	212.49
Perdas de pressão localizadas (Pa)	37.95	133.14	104.73	40.65	51.44	42.50
Perdas de pressão nos traçados (Pa)	227.72	798.81	628.40	243.90	308.64	254.99
	227.72	798.81		243.90	308.64	254.99
Perda Total (Pa)	977.72	1548.81		993.90	1058.64	1004.99

Através destes cálculos é possível consultar a curva característica do ventilador de cada torre e assinalar os respetivos pontos de funcionamento, de acordo com a Figura 3.18.

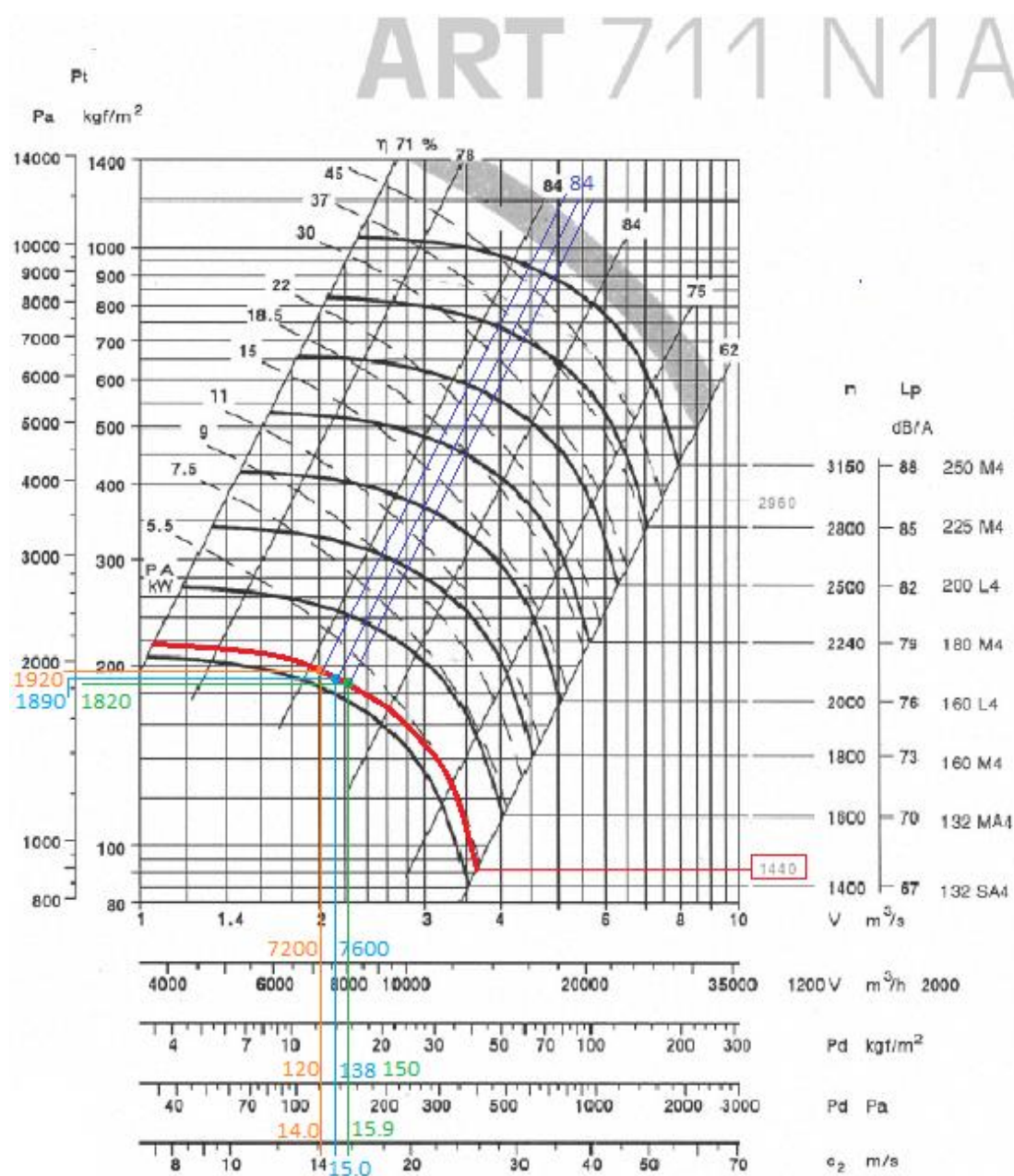


Figura 3.18- Identificação dos pontos de funcionamento da alteração das ligações das torres de exaustão

De acordo com os pontos assinalados, obtiveram-se as características indicadas no Quadro 3.49.

Quadro 3.49- Características dos pontos de funcionamento da alteração das torres de exaustão

Caraterísticas do ponto	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4	Torre 5
Caudal (m^3/h)	7200		8000	7600	
Velocidade (m/s)	14.0		15.9	15.0	
Pressão dinâmica (Pa)	120		150	138	
Pressão total (Pa)	1920		1820	1890	
Pressão estática (Pa)	1800		1670	1752	
Rendimento (%)	84				

De acordo com os estes dados, foi possível concluir os seguintes pontos:

- Torre 1: a pressão estática da curva característica é bastante superior à pressão calculada de 977.72 Pa, pelo que é possível garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável desta torre com uma margem de 822.28 Pa
- Torre 2: a pressão estática da curva característica é superior à pressão calculada de 1548.81 Pa, pelo que é possível garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável desta torre com uma margem de 251.19 Pa
- Torre 3: a pressão estática da curva característica é bastante superior à pressão calculada de 993.90 Pa, pelo que é possível garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável desta torre com uma margem de 676.10 Pa
- Torre 4: a pressão estática da curva característica é bastante superior à pressão calculada de 1058.64 Pa, pelo que é possível garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável desta torre com uma margem de 693.36 Pa
- Torre 5: a pressão estática da curva característica é bastante superior à pressão calculada de 1004.99 Pa, pelo que é possível garantir uma pressão negativa na última máquina do troço mais desfavorável desta torre com uma margem de 747.01 Pa

Através das conclusões anteriores, é então possível aproveitar as torres de exaustão com as alterações mencionadas anteriormente, sendo que as restantes condutas retangulares que foram desativadas, nomeadamente as linhas 8/9, 10/11, 14/15 e 16/17, podem ser aproveitadas para se refazer derivações nas condutas para a cobertura com ligação a novos sistemas autónomos de filtração com módulos, tal como indicado na Figura 3.19.

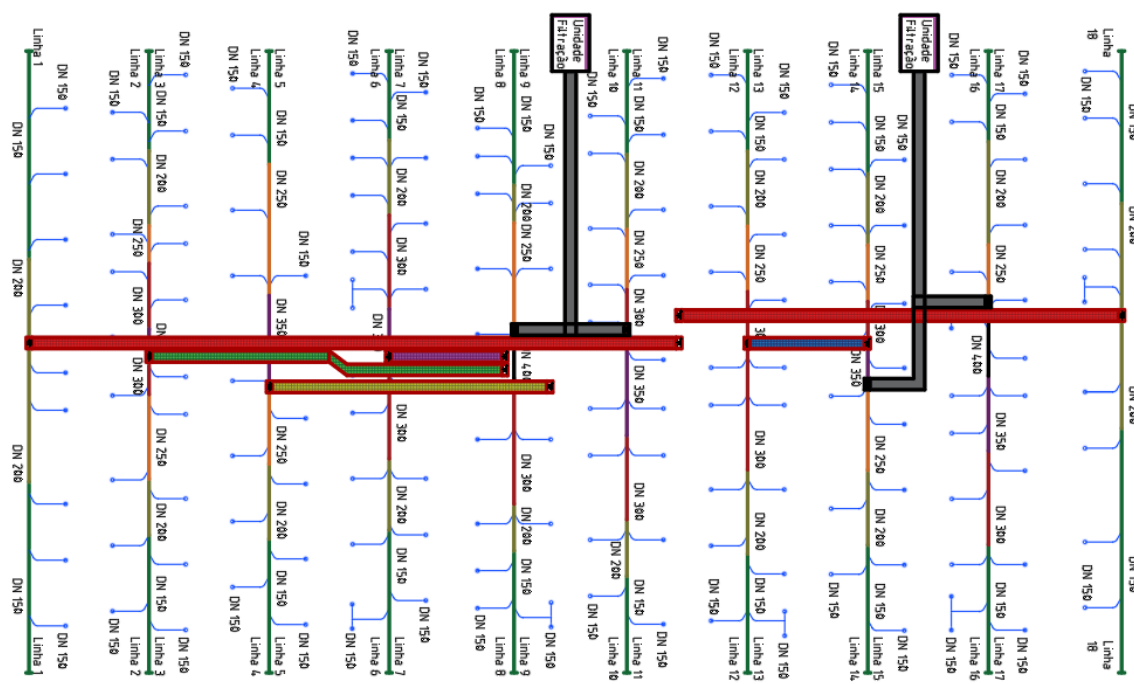


Figura 3.19- Esquema do novo sistema de exaustão e filtração da zona central

O dimensionamento das unidades de filtração depende do caudal total extraído das linhas associadas e respetivas perdas de carga totais, tendo em conta os novos circuitos, sendo que se deve cumprir exatamente os mesmos requisitos definidos no capítulo anterior, aquando do dimensionamento das unidades das novas células.

Os dados necessários para o dimensionamento das unidades de filtração da zona central foram indicados no Quadro 3.50.

Quadro 3.50-Caraterísticas das linhas de exaustão que se ligam às unidades de filtração

Unidades Filtração	1		2	
Linhas de Exaustão	8/9	10/11	14/15	16/17
Seção (mm)	600 x 300	600 x 300	600 x 300	600 x 300
	DN 500		DN 500	
Distâncias (m)	3.0	3.50	8.20	4.50
	17.57		16.10	
Caudal total (m³/h)	8800	9600	6800	8800
	18400		15600	

A seleção destas unidades de filtração teve por base as considerações no Quadro 3.51.

Quadro 3.51-Dimensionamento das unidades de filtração da zona central

Caraterísticas	Regime Ideal	Regime Máximo
	Caudal (m³/h)	
Unidade 1 - Linhas 8/9 e 10/11	18400	Maior ou igual a 18400
Unidade 2 - Linhas 14/15 e 16/17	15600	Maior ou igual a 15600

Deste modo, propôs-se as seguintes unidades OSF (Oil Smoke Filters) da Nederman com as seguintes caraterísticas representadas no Quadro 3.52.

Quadro 3.52-Characterização das unidades de filtração para as linhas da zona central

Unidades Nederman	Modelo	Número de módulos	Capacidade máxima total (m³/h)	Pressão máxima serviço (Pa)	Estágios de filtração	Perda de pressão máxima (Pa)
Unidade 1	OSF 3500	5	20000	4500	2	1400
Unidade 2	OSF 3500	4	16000	4500	2	

Tendo em conta as características das unidades, verifica-se que as condições normais de funcionamento do sistema de exaustão das unidades 1 e 2 correspondem a cerca de 92 e 97.50 %, respetivamente, das respetivas capacidades máximas.

3.3.3 Ventiladores de Exaustão

No dimensionamento dos ventiladores destas unidades de filtração foi necessário tanto o caudal total do sistema como a pressão estática mínima que corresponde à maior perda de carga do traçado mais desfavorável.

No Quadro 3.53, a perda de carga total de cada circuito corresponde às perdas de carga nos traçados, desde o ponto mais desfavorável, onde se realiza a picagem da última máquina, até ao ponto de descarga do ventilador da unidade de filtração, localizada na cobertura.

Quadro 3.53-Perdas de pressão máximas nos novos sistemas de exaustão da zona central

Condutas	Unidade 1		Unidade 2	
Linhas de Exaustão	8/9	10/11	14/15	16/17
Caudal de cálculo (m ³ /h)	8800	9600	6800	8800
Diâmetros (mm)	DN 150 a DN 500			
Distâncias (m)	35.36	35.49	39.70	37.54
Perdas de pressão contínuas (Pa)	362.37	383.56	302.64	416.81
Perdas de pressão localizadas (Pa)	72.47	76.71	60.53	83.36
Perda de carga total (Pa)	434.84	460.27	363.16	500.17
Caudal total de cálculo (m ³ /h)	18400		15600	
Pressão estática mínima (Pa)	460.27		500.17	

Contudo, no dimensionamento do ventilador, a pressão estática total deve ser o somatório das perdas de carga calculadas com a perda de carga máxima dos estágios filtrantes, que é 1400 Pa, perfazendo os seguintes dados de dimensionamento indicados no Quadro 3.54.

Quadro 3.54-Ponto de funcionamento do ventilador dos novos sistemas de exaustão

Parâmetros	Unidade 1	Unidade 2
Caudal de cálculo (m ³ /h)	18400	15600
Perda de carga das tubagens (Pa)	460.27	500.17
Perda de carga da filtração (Pa)	1400	
Pressão estática mínima (Pa)	1860.27	1900.17

O dimensionamento deste ventilador com variador deve cumprir exatamente os mesmos requisitos definidos no subcapítulo anterior, aquando do dimensionamento dos ventiladores das novas células.

Quadro 3.55-Dimensionamento dos ventiladores das unidades de filtração das linhas da zona central

Parâmetros	Regime Ideal	
	Caudal (m ³ /h)	Pressão estática (Pa)
Unidade 1	18400	1860.27
Unidade 2	15600	1900.17

Para a correta seleção do ventilador deve-se ainda calcular a pressão dinâmica à saída do ventilador no sentido de se calcular ainda a pressão total, de acordo com o caudal de cálculo.

Deste modo, no Quadro 3.56 apresentam-se os cálculos das pressões totais para os regimes considerados.

Quadro 3.56-Cálculo das pressões totais para os circuitos dos novos sistemas de exaustão

Parâmetros	Regime Ideal	
	Unidade 1	Unidade 2
Caudal (m ³ /h)	18400	15600
Diâmetro entrada (mm)	565	
Velocidade (m/s)	20.39	17.28
Pressão Estática (Pa)	1860.27	1900.17
Pressão Dinâmica (Pa)	234.60	168.63
Pressão Total (Pa)	2094.87	2068.80

Na tabela anterior foram usados os diâmetros de entrada dos ventiladores que tivessem a curva característica mais próxima do ponto de funcionamento, nomeadamente:

Stl	A	B	C	D1	D2	D3	D4	D5	E	F	G	H	I	J	O	P	P'	Q	Q'	T	U	V
160	200	112	180	310	286	286	339	339	231	240	255	164	192	161	26	116		73			6	
180	224	125	202	340	313	313	372	372	258	269	285	170	212	181	26	86		80			6	
200	252	141	228	376	346	346	412	412	291	303	321	178	232	203	26	94	95	87			6	
224	282	158	255	413	380	380	454	454	325	339	358	186	263	227	26	104	105	80	57	132	6	99
250	318	178	287	458	420	420	503	503	365	381	403	219	289	254	26	88	87	80	67	142	6	110
280	356	200	299	450	465	465	560	560	410	427	452	230	319	284	36	100		100	72	153	8	120
315	400	224	361	563	511	511	620	620	456	486	508	242	349	317	36	111		100	84	166	8	132
355	448	251	405	620	570	570	688	688	515	538	565	271	387	360	36	100	97	100	97	180	8	146
400	503	282	455	694	633	633	765	765	578	605	639	286	488	404	36	110	107	100	112	195	12	161
450	565	316	510	770	703	703	850	850	648	678	716	337	538	454	36	100	102	115	122	212	12	178
500	634	355	572	858	780	780	950	950	725	761	803	342	600	504	46	172		207		233	12	198
560	711	402	641	950	870	870	1055	1055	815	853	895	407	670	565	46	193		154	153	256	12	221
630	798	446	720	1063	968	968	1177	1177	913	957	1008	423	750	635	46	172		170		278	12	243

Figura 3.20- Diâmetro de entrada para um ventilador F40-R560 e F40 R560

De acordo com estes modelos, foi possível marcar o ponto de funcionamento dos dois sistemas de exaustão nas curvas características respetivas, de acordo com a Figura 3.21 e Figura 3.22.

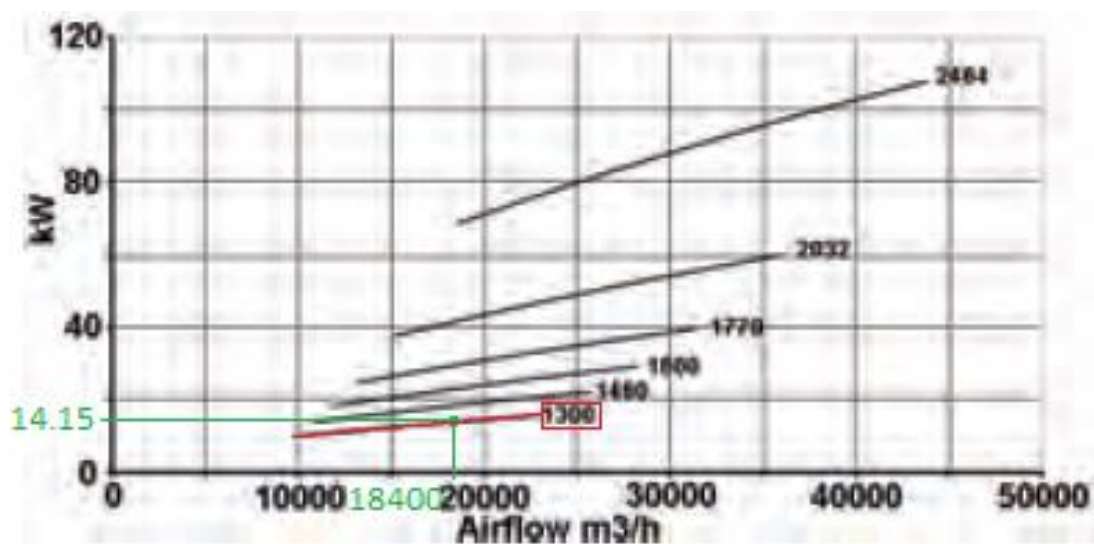
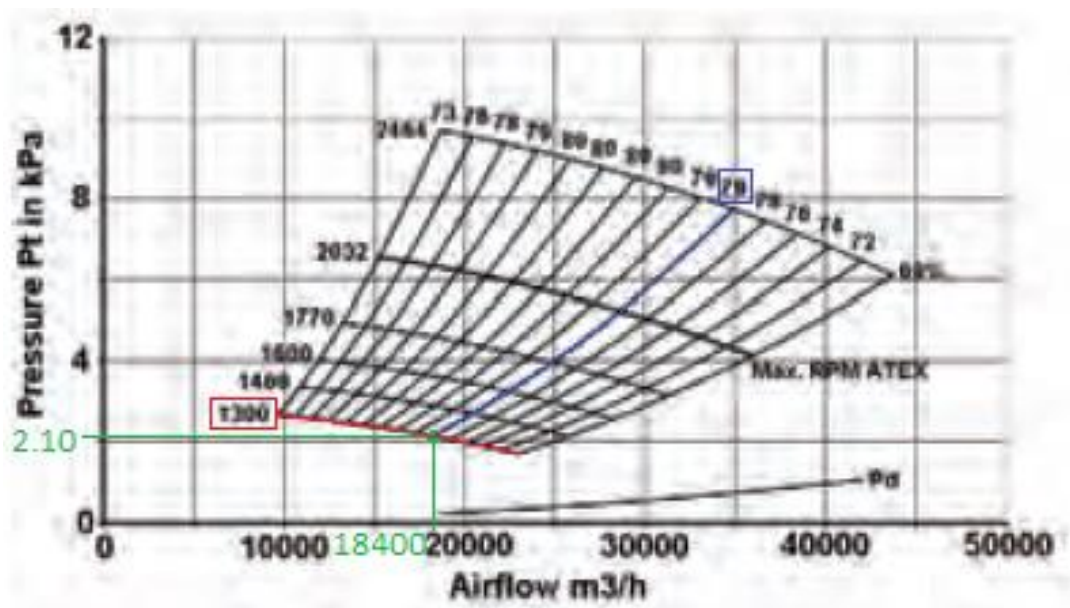


Figura 3.21- Curva caraterística e ponto de funcionamento do ventilador F56 R560

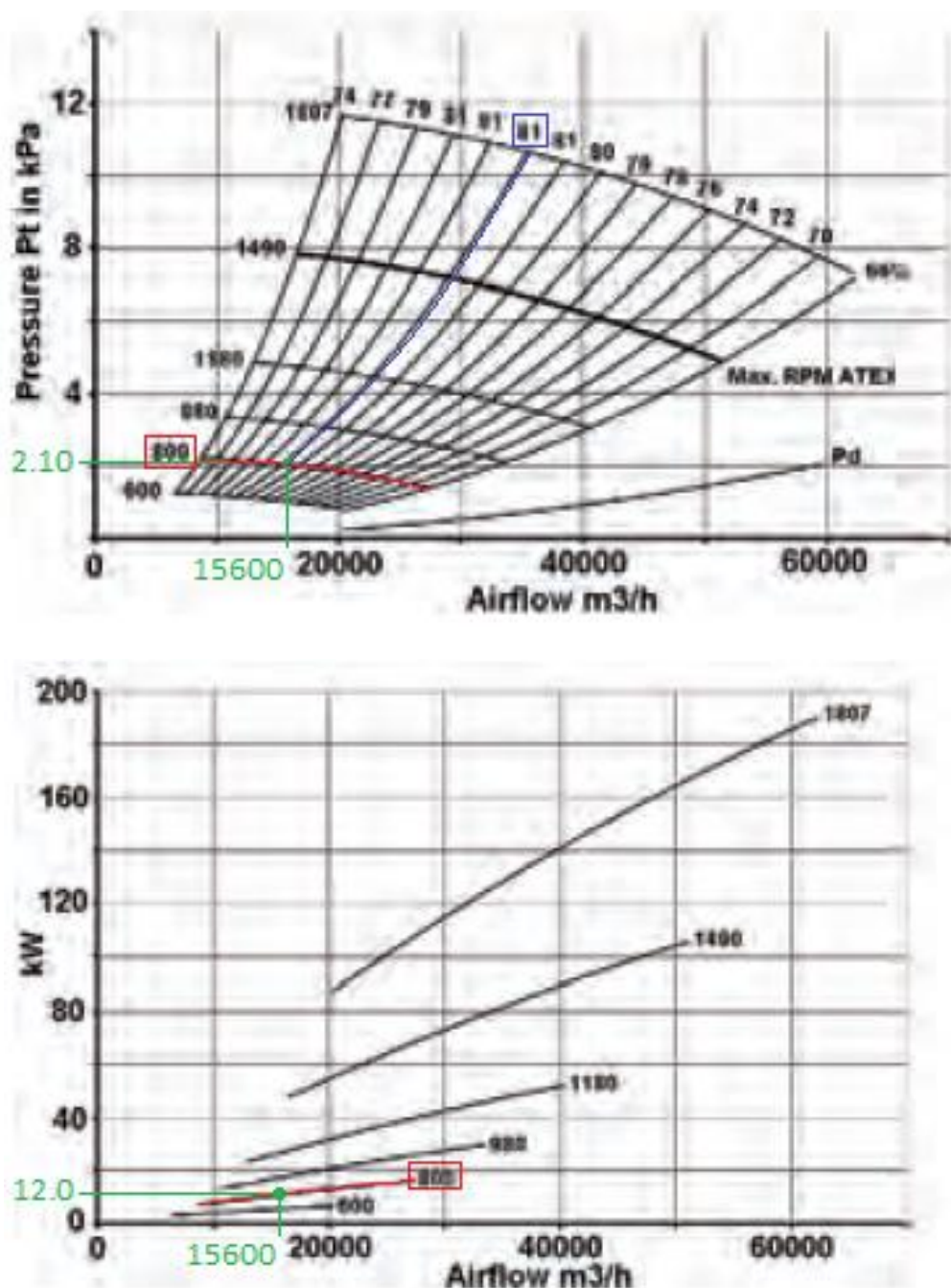


Figura 3.22- Curva característica e ponto de funcionamento do ventilador F40 R560

De acordo com estas curvas, identificaram-se os seguintes pontos de funcionamento possíveis e respectivas características dos ventiladores e motores, de acordo com o Quadro 3.57.

Quadro 3.57- Caracterização dos ventiladores e motores elétricos para a exaustão das unidades 1 e 2

Parâmetros	Unidade 1	Unidade 2
Ventilador	F56-R560	F40-R560
Impulsor	1300	800
Caudal (m³/h)	15600	18400
Pressão Total (Pa)	2100	2100
Rendimento (%)	79	81
Potência motor (kW)	14.15	12.0

De acordo com estes dados, é possível concluir o seguinte:

- Para a exaustão da unidade 1, de acordo com o ponto de funcionamento encontrado na curva do ventilador F56-R560, a pressão total corresponde aproximadamente a um acréscimo de 0.25% relativamente à pressão total calculada, representando um rendimento de 79% que se encontra bastante próximo do rendimento máximo que se situa nos 80%
- Para a exaustão da unidade 2, de acordo com o ponto de funcionamento encontrado na curva do ventilador F40-R560, a pressão total corresponde aproximadamente a um acréscimo de 1.51% relativamente à pressão total calculada, representando um rendimento de 81% que é o máximo

3.4 Renovação do Ar Interior da Nave

De acordo com as soluções propostas, apresenta-se no Quadro 3.58 o caudal de cálculo para cada zona de operação.

Quadro 3.58-Caudal de extração da nave tendo em conta o novo sistema de exaustão proposto

Zonas	Zona Montagem	Zona Central	Zona Células
Caudal de exaustam (m ³ /h)	8400	71600	39400
	119400		

De acordo com os dados, verifica-se que o novo sistema proposto para a exaustão do edifício 1 apresenta uma capacidade de exaustão de 119400 m³/h.

O cálculo do número de renovações hora pode ser realizado pela Equação 7:

$$N_{Rh} = \frac{Q}{V} \quad (7)$$

No Quadro 3.59, apresenta-se os dados sobre o espaço físico das zonas de operação.

Quadro 3.59-Volume útil das zonas de operação

Zonas	Zona Montagem	Zona Central	Zona Células
Área útil (m ²)	1700	1982	1474
Pé direito (m)	3.0	4.0	
Volume útil (m ³)	5100	7928	5896
	18924		

Deste modo, pode-se concluir que a relação entre o caudal de exaustão total e o volume útil total da nave corresponde a aproximadamente 6 renovações por hora, o que de acordo com as

recomendações do fornecedor Sandometal, encontra-se dentro do intervalo das renovações recomendadas para uma fábrica.

3.5 Equipamentos do Novo Sistema de Exaustão

De acordo com as soluções propostas, os equipamentos necessários são:

- Tubagens e acessórios
- Unidades Filtrantes
- Ventiladores

Cada unidade de filtração é uma solução que compõem os módulos filtrantes (com os elementos filtrantes) e o respetivo ventilador, sendo que as suas principais funções são:

- Separar o ar limpo das partículas pesadas e contaminadas, provenientes dos fluidos das máquinas
- Armazenamento e recuperação dos condensados de óleos através de escoamento gravítico diretamente para a central que abastece as máquinas da produção
- Vencer as perdas de carga totais (contínuas e localizadas) das tubagens e do sistema de filtração, garantindo uma adequada pressão negativa no troço mais desfavorável
- Extrair o ar limpo e quente para a atmosfera, renovando o ar interior

Neste subcapítulo realiza-se uma apresentação e caracterização dos equipamentos mencionados, sendo que as suas tabelas de características técnicas encontram-se no catálogo da Nordfab (referências bibliográficas). As quantidades necessárias para este projeto e respetivo custo encontra-se no Anexo II do presente trabalho.

3.5.1 Tubagens e Acessórios

As tubagens escolhidas para a implementação do novo sistema de exaustão do edifício 1 são as condutas QFS, em aço galvanizado, que pertencem à marca Nordfab (Figura 3.23).



Figura 3.23- Condutas QFS Nordfab (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

Ao contrário da ligação flangeada, este tipo de tubagens permitem uma ligação por braçadeiras de aperto rápido, na qual envolvem as juntas de vedação em borracha que envolvem os terminais das condutas que são ligadas, permitindo garantir certas vantagens, tais como:

- São especialmente usadas para receber névoas de exaustão em trabalhos de corte, tais como torneamento, corte, furações, retificações e acabamentos
- Permitem uma instalação rápida sem ferramentas especiais e pintura
- Apresentam componentes de montagem fácil e rápida
- Condutas soldadas a laser para uma superfície mais suave e maior resistência
- Garantem uma estanquicidade sem fugas de óleo pelas ligações
- Apresentam uma rápida e fácil manutenção e manuseamento, no caso de limpeza, extensão ou recolocação de traçados
- Apresentam diversos tipos de acessórios com o mesmo tipo de ligação
- Apresentam adaptadores para ligações entre condutas de aperto rápido e outro tipo de ligações, tais como flangeadas

As especificações técnicas deste tipo de condutas, para as névoas de óleo, devem respeitar os seguintes pontos durante a sua aplicação:

- No caso das névoas de óleo, provenientes de maquinagem, deve-se aplicar as condutas QF, em aço galvanizado, com costura por soldadura a laser (Figura 3.24)

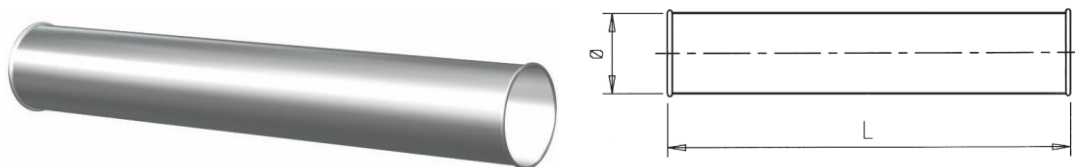


Figura 3.24- Condutas QF (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Instalar as tubagens com um declive entre 1 a 3°, com inclinação negativa do primeiro para o último ponto de extração, de forma a evitar a acumulação de condensados no interior dos traçados principais que podem originais, em última instância, fugas de óleo e consequentemente perigos para os trabalhadores e máquinas
- Velocidades mínimas de 10 m/s para névoas contaminadas com óleos pesados

Igualmente os acessórios também são da marca Nordfab, uma vez que estes apresentam algumas vantagens referidas anteriormente, além de que são próprias para névoas de exaustão.

Alguns destes acessórios, em concordância com as soluções propostas, têm as seguintes aplicações e funções:

- No ajuste final dos comprimentos, para ligação entre duas condutas, deve-se aplicar as condutas QFS, em aço galvanizado, com costura por soldadura a laser. O procedimento a executar é cortar uma das condutas e colocar nessa extremidade por ordem de entrada, primeiro um o-ring maior e depois um o-ring menor. Depois encostar com força a conduta cortada com a conduta original (que apresenta um rebordo de encosto) através do o-ring menor, aplicar a braçadeira de forma a envolver o rebordo metal e o o-ring maior e então apertar a braçadeira até fechar (Figura 3.25 e Figura 3.26)

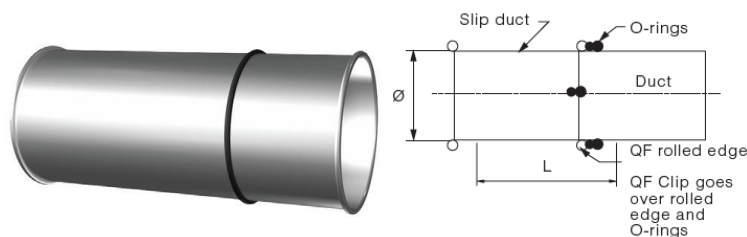


Figura 3.25- Condutas QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)



Figura 3.26- Processo de ajuste do traçado das tubagens QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Braçadeiras metálicas, em aço galvanizado, para junção de duas tubagens e conjunto de juntas de vedação, em polímero de alta resistência (Figura 3.27)



Figura 3.27- Braçadeira e junta de vedação (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Cinta de Fixação KVDA, em aço galvanizado, 25x2.0 mm, com respectivos parafusos e porcas (Figura 3.28)

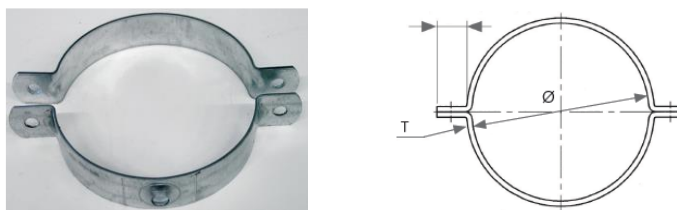


Figura 3.28- Cinta de fixação KVDA (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Pernas de Suporte KVDD, em aço galvanizado, 25x2.0 mm, com respectivos parafusos e porcas (Figura 3.29)



Figura 3.29- Pernas de Suporte KVDD (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Cinta de Suspensão com Fixação ao Teto (Figura 3.30)



Figura 3.30- Cinta de suspensão QF (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Curvas contínuas e segmentadas QFS de 15°, 30°, 45°, 60° e 90° em aço galvanizado (Figura 3.31)



Figura 3.31- Curvas QFS contínuas e segmentadas, respetivamente (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Blocos com ramos de derivação QFS em aço galvanizado (Figura 3.32)

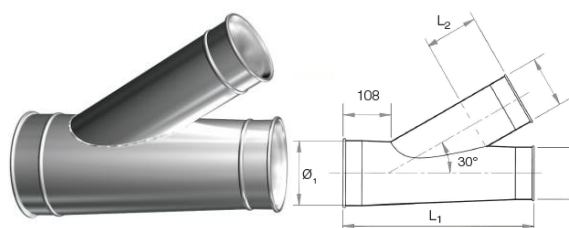


Figura 3.32- Bloco com ramo de derivação QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Blocos com ramos duplos de derivação QFS em aço galvanizado (Figura 3.33)

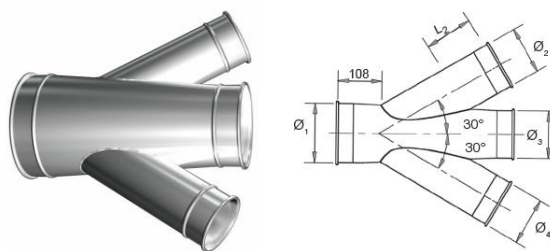


Figura 3.33- Bloco com ramo duplo de derivação QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Tê QFS em aço galvanizado (Figura 3.34)

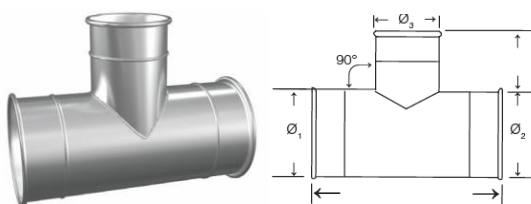


Figura 3.34- Tê QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Cone de Redução QFS em aço galvanizado (Figura 3.35)

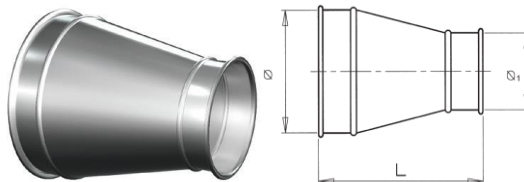


Figura 3.35- Cone de redução QFS (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Transição Retangular-Circular em aço galvanizado (Figura 3.36)

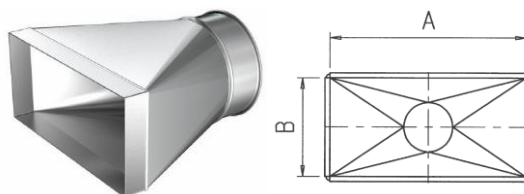


Figura 3.36- Transição retangular-circular (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Tampa cega em aço galvanizado (Figura 3.37)

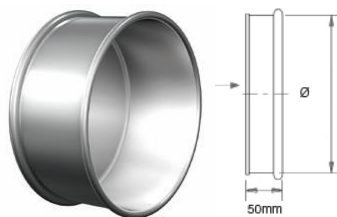


Figura 3.37- Tampa cega (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Adaptador para flange e mangueira em aço galvanizado (Figura 3.38)

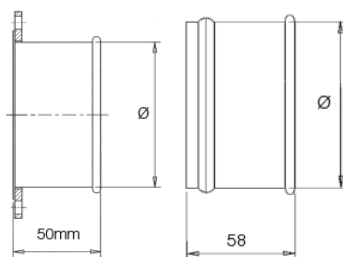


Figura 3.38- Adaptador para flange e mangueira, respetivamente (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

- Mangueira flexível de poliuretano com hélice de aço embutida e respetiva braçadeira, em aço galvanizado (Figura 3.39)



Figura 3.39- Mangueira de poliuretano e braçadeira, respetivamente (QFS Oil Mist & Cutting Fluid)

3.5.2 Unidades de Filtração Autónomas

As unidades propostas são da marca “Nederman Filtac” com uma tecnologia de filtração por filtros de fibra, sendo especialmente dedicadas para trabalhar com névoas e fumos de exaustão, proveniente dos processos de corte para um regime contínuo de 24 horas/dia todo o ano.

Processo de Filtração

Este tipo de unidades consegue coletar tanto as névoas como os fumos de exaustão, proveniente das máquinas, que passam através de camadas de filtros de fibra comprimidos a uma velocidade baixa para otimizar a filtração.

A entrada das névoas é realizada efetivamente pelo fundo da unidade de filtração e atravessa, de forma ascendente na vertical, os cartuchos filtrantes. Estes elementos filtrantes são progressivos em termos de propriedades de filtração, o que significa que as partículas maiores

serão filtradas no primeiro estágio, enquanto que as partículas menores serão filtradas no último estágio de filtração.

As partículas filtradas escoam por gravidade desde a superfície do filtro até ao cárter, que se encontra no fundo das unidades, na qual pode ser armazenado para um recipiente, uma caixa de bombeamento ou diretamente para a máquina-ferramenta. Neste caso, o bujão do cárter será ligado diretamente a uma tubagem de retorno para descarga contínua dos fluidos nas centrais.

Estes tipos de filtros não absorvem ou ficam colmatados pelos óleos, uma vez que os filtros de fibra foram especialmente projetados para permitir que as gotículas dos fluidos se unam para originar partículas maiores nas fibras de interseção e finalmente drenem por gravidade para fora do meio do filtro até ao cárter da unidade.

Deste modo, através desta tecnologia, é possível garantir a extração de um ar limpo para o exterior da fábrica ou para o interior caso se pretende aquecer o espaço interior (usando filtros HEPA), além de que permite a recuperação e reutilização dos fluidos.



Figura 3.40- Ilustração do processo de drenagem nas unidades “Filtac FibreDrain” (Nederman Filtac Oil Mist Filters For Continuous Operation)

Tipos de Aplicações

Existem dois tipos de unidades disponíveis atendendo ao tipo de fluido que se pretende tratar.

As unidades de filtração OMF (Figura 3.41) da Nederman Filtac são indicadas para lidar com grandes quantidades de névoas de emulsão, durante operações contínuas, sendo focadas na máxima eficiência em combinação com baixo custo de manutenção.

Oil Mist Filters (OMF)

	OMF 1000	OMF Flex Comp 1000	OMF Flex Comp 2000	OMF 2000	OMF 4000	OMF 6000
Nominal airflow	1000 m ³ /h	1000 m ³ /h	2000 m ³ /h	2000 m ³ /h	4000 m ³ /h	6000 m ³ /h
Filter stages	2	3	3	3	3	3
Prefilter	Optional	Not applicable	Not applicable	Optional	Optional	Optional
Inlets	2	2	1	2	2	2
Inlet diameter	200 mm	150 mm	200 mm	200 mm	315 mm	400 mm
Design	Floor-standing, vertical	Horizontal, for mounting on machine	Horizontal, for mounting on machine	Floor-standing, vertical	Floor-standing, vertical	Floor-standing, vertical

Figura 3.41- Unidades OMF para aplicações de névoas de exaustão por emulsão (Nederman Filtac Oil Mist Filters For Continuous Operation)

Este tipo de unidades será aplicado apenas na zona das células, devido ao facto de existir um maior volume de exaustão de névoas de emulsão do que propriamente óleos de corte inteiros.

As unidades de filtração OSF (Figura 3.42) da Nederman Filtac são indicadas para lidar com grandes quantidades de fumos de óleos de corte inteiros, durante operações contínuas, tendo sido desenvolvidas com foco na máxima eficiência em combinação com baixo custo de manutenção.

Oil Smoke Filters (OSF)

	OSF FlexComp 500	OSF FlexComp 1000	OSF 1000	OSF 1000S-2	OSF 2000	OSF 3000	OSF 3500
Nominal airflow	500 m ³ /h	1000 m ³ /h	1000 m ³ /h	1000 m ³ /h	2000 m ³ /h	3000 m ³ /h	4000 m ³ /h
Filter stages	3	3	3	2	3	3	3
Prefilter	Not applicable	Not applicable	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Inlets	2	1	2	2	2	2	2
Inlet diameter	150 mm	200 mm	200 mm	200 mm	315 mm	400 mm	315 mm
Design	Horizontal, for mounting on machine	Horizontal, for mounting on machine	Floor-standing, vertical	Floor-standing, vertical	Floor-standing, vertical	Floor-standing, vertical	Floor-standing, vertical

Figura 3.42- Unidades OSF para aplicações de fumos de exaustão por óleos corte inteiro (Nederman Filtac Oil Mist Filters For Continuous Operation)

Este tipo de unidades será aplicado tanto na zona central como na zona da montagem, uma vez que em ambas as zonas existem fumos de exaustão devido à evaporação dos óleos de corte inteiros e líquido de lavagem, respetivamente.

Tipos de Unidades

Em termos de dimensões, existem disponíveis dois tipos de unidades:

- Unidades Standard: são projetadas para fluxos de ar de 500 m³/h até 6000 m³/h, sendo instalados como unidades autónomas e conectados a uma ou várias máquinas-ferramentas, de acordo com a Figura 3.43



Figura 3.43- Unidades Standard da Nederman (Filtac Air Solutions)

- Unidades por Módulos: são projetadas para condições superiores aquelas que as unidades standard conseguem garantir, pelo que são construídas em conjuntos de módulos de unidades individuais com um ventilador por cima ou ao lado, tratando-se de unidades personalizadas feitas por encomenda, de acordo com a Figura 3.44



Figura 3.44- Unidades por módulos da Nederman (Filtac Air Solutions)

Dado que em todas as aplicações das zonas de operação, os caudais são todos superiores à capacidade máxima de uma unidade individual, optou-se pela utilização de unidades com módulos de filtros.

Vantagens das Unidades

A tecnologia destas unidades de filtração permite as seguintes vantagens:

- Eficiência de filtragem de 99.95 %
- O design minimiza a necessidade de serviço, proporcionando uma capacidade excecional de drenagem de fluidos
- Os filtros não necessitam de substituição dado que são recuperáveis por lavagem

- As unidades estão preparadas para a instalação de uma pré-filtração (Figura 3.45), para proteção dos estágios seguintes, caso existam no futuro aplicações que possam originar partículas sólidas no sistema de exaustão



Figura 3.45- Pré-filtragem das unidades (Filtac Air Solutions)

- As unidades estão preparadas para a instalação de um último estágio de filtração com os filtros HEPA (Figura 3.46), caso se pretenda no futuro redirecionar o ar quente para o interior da nave para aquecimento do ambiente interior



Figura 3.46- Filtros HEPA (Filtac Air Solutions)

- As unidades são adequadas para aplicações de névoas e fumos com alta concentração, como é o caso
- As unidades garantem uma boa qualidade do ar e apresentam uma baixa manutenção e elevada vida útil

Especificações Técnicas das Unidades

Em termos de características técnicas de construção, este tipo de unidades apresentam o seguinte:

- Todas as unidades são fabricadas com materiais de alta qualidade e são totalmente soldadas e resistentes às intempéries
- Todas as unidades são devidamente preparadas antes de serem pintadas com um revestimento de pó especialmente resistente para fluidos e corte e arrefecimento
- Todos os filtros são protegidos com um dispositivo de bloqueio de filtro que permite uma alta estanquicidade dos filtros no interior através de uma instalação segura

3.5.3 Ventiladores das Unidades Autônomas

Caraterísticas dos Ventiladores

Os ventiladores escolhidos para completar as unidades de filtração são também da marca Nederman, tratando-se dos modelos Combifab-F com as suas caraterísticas no Quadro 3.60.

Quadro 3.60-Caraterísticas técnicas dos ventiladores Combifab-F

Caraterísticas	COMBIFAB-F
Hélice	R/S/T
Tipo de Aplicação	R – fumos de soldadura, névoas de óleo, gases de escape, temperatura altas S – poeiras de esmerilação e polimento T – limalhas e lascas
Tipo de Acionamento	D04/D05/BV14/BW09
Caudal de ar (m ³ /h)	200 a 200000
Pressão (Pa)	< 20000
Potência (kW)	< 500
Gama de temperatura (°C)	-20 a 250
Cor standard	RAL 5009 azul
Posição de saída	Qualquer

Tendo em conta estas possibilidades, optou-se, para todas as soluções, por ventiladores Combifab-F com as seguintes caraterísticas:

- Hélice do tipo R: adequada para ar limpo apresenta as pás com desenho curvo, fechado e inclinado para trás, sendo utilizado para transportar ar limpo ou com pequenas quantidades de partículas finas, tais como fumos de soldadura, névoas de óleo ou gases de escape. Este tipo de hélice fornece uma eficiência bastante alta de 87% (Figura 3.47)



Figura 3.47- Hélice do tipo R (Catálogo de Produtos Nederman)

- Acionamento D04: equipados com um motor com montagem por flange/rodapé montado numa base de instalação da caixa (Figura 3.48)

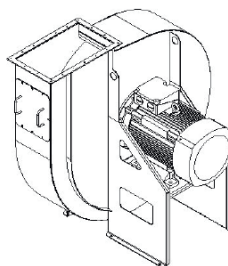


Figura 3.48- Tipo de acionamento D04 (Catálogo de Produtos Nederman)

- Posição RD0: posição com descarga de saída superior (Figura 3.49)

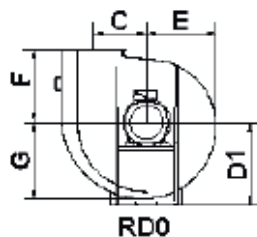


Figura 3.49- Posição de saída do ar (Catálogo de Produtos Nederman)

Vantagens dos Ventiladores

Os ventiladores Combifab-F apresentam as seguintes vantagens:

- Apresentam uma eficiência até 87%
- Apresenta um baixo consumo de energia
- Apresentam maior fiabilidade durante o funcionamento
- Apresentam baixos custos de manutenção
- Redução eficaz do ruído com campânula silenciadora
- Disponibilidade na versão ATEX para poeiras e gases explosivos

3.5.4 Caixas de Insonorização e Acessórios

As caixas acústicas são propostas para cada ventilador Combifab-F proposto, cuja função principal é a redução das emissões de ruído no exterior.

As suas vantagens e características são:

- Utilização externa com fabrico em chapa de aço galvanizada com isolamento interno
- Dimensões disponíveis de acordo com os ventiladores selecionados
- Porta de inspeção grande com entrada e saída
- Unidade pré-fabricada de fácil instalação

De acordo com os ventiladores selecionadas para as soluções propostas, é possível consultar as tabelas que se encontram no Anexo IX, para efetuar a seleção adequada das caixas sonorizadas, da seguinte forma:

- Consultar a representação das caixas acústicas
- Selecionar o tipo de caixa acústica em função do ventilador
- Verificar as dimensões do tipo de caixa acústica selecionada
- Selecionar as flanges para as condutas de entrada e saída na caixa

3.6 Controlo e Gestão do Funcionamento do Sistema de Exaustão

Os sistemas de exaustão das três zonas de operação devem ser controlados por equipamentos que conseguem controlar o fluxo do caudal e consequentemente reduzir os desperdícios energéticos e o ruído.

Em cada zona de operação, para cada unidade autónoma de filtração prevê-se a instalação de um variador de velocidade para o respetivo ventilador, assim como um registo elétrico automático para cada picagem das linhas de exaustão que estão ligadas a estas novas unidades.

3.6.1 Monitorização e Manutenção do Processo

Em termos de controlo e gestão do processo de filtração, dado que cada unidade apresenta três estágios de filtração, no espaço físico entre os estágios existem manómetros de pressão que fazem a leitura da pressão (em Pa) a montante e a jusante para cada estágio filtrante.

Deste modo, deve-se verificar que o valor absoluto da diferença de pressão entre o último estágio (na saída da unidade) e o primeiro estágio (na entrada da unidade) é sempre inferior a 1400 Pa, valor este que representa a perda de carga máxima possível nestas unidades.

Para além deste controlo do processo, deve-se ainda realizar uma análise semanal, através de um aparelho de medição adequado, dos vapores de exaustão à saída do ventilador, de forma a garantir que não existem poluentes a passar pelos filtros no caso de estes ficarem furados.

Em termos de manutenção, estas unidades necessitam de pouca intervenção, contudo recomenda-se que se realize uma manutenção preventiva, que consiste numa limpeza mensal dos filtros das unidades, aquando do domingo de paragem da fábrica.

3.6.2 Secionamento Automático das Picagens

Selecionou-se um seccionador de borboleta totalmente elétrico (Figura 3.50) da marca Nederman, em vez do seccionador de guilhotina com acionamento pneumático, uma vez que se pretende manter a estanquicidade do traçado além de que se pretende que o estado aberto/fechado da válvula esteja diretamente relacionado com o estado ON-OFF da máquina.

Ou seja, enquanto a máquina estiver a trabalhar o registo mantém-se totalmente aberto, caso contrário, quando a mesma se desligar, o registo fecha-se totalmente após 3 minutos para garantir que as névoas presentes na máquina sejam totalmente aspiradas e não permaneçam na mesma se o corte fosse instantâneo.

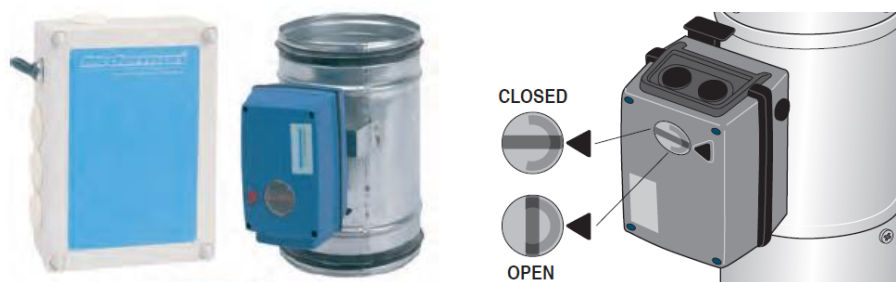


Figura 3.50- Caixa de controlo e registo eléctrico de seccionamento (User Manual of Motor Damper)

Atendendo aos tipos de picagens, seleccionou-se o modelo do registo de acordo com os diâmetros das picagens disponíveis nas zonas:

- Modelo MDA 125: para as picagens DN 100
- Modelo MDA 160: para as picagens DN 150

Em termos técnicos, o sistema de controlo do registo funciona através de uma caixa de controlo, localizada em cada máquina, que apresenta os seguintes componentes:

- Disjuntor de proteção do circuito
- Contactor de controle de passagem de corrente, acionado por comando piloto de 24 V proveniente do quadro eléctrico da máquina
- Temporizador de 0 a 5 minutos para atrasar o fecho de registo
- Transformador de 24V AC para alimentar o registo

A alimentação eléctrica desta caixa de controlo é monofásica 220V, sendo proveniente do quadro eléctrico de controlo do variador de velocidade.

Para cada linha de exaustão, as caixas de controlo das respectivas máquinas devem realizar uma ligação em série para ligar directamente ao contactor de 24V instalado no quadro eléctrico do ventilador.

Deste modo, existem dois tipos de controlo do funcionamento de cada sistema de exaustão:

- 1- Controlo do estado dos registos: enquanto a máquina estiver parada, seja qual o motivo, não existe alimentação eléctrica para o registo normalmente fechado, assim como quando se estabelecer a ligação da máquina, existe alimentação eléctrica do registo que vai abrir, permitindo o acesso à exaustão do sistema
- 2- Controlo do estado do ventilador: para cada circuito de exaustão associado à unidade de filtração e respetivo ventilador, enquanto houver pelo menos uma máquina a trabalhar, existe alimentação para o contactor do ventilador que fica atracado, permitindo a alimentação do variador de velocidade. Apenas quando todas as máquinas se desligarem

é que se interrompe o sinal para o contactor, que depois não permite o funcionamento do ventilador, desligando-se assim todo o sistema

Este controlo total é esquematizado na Figura 3.51.

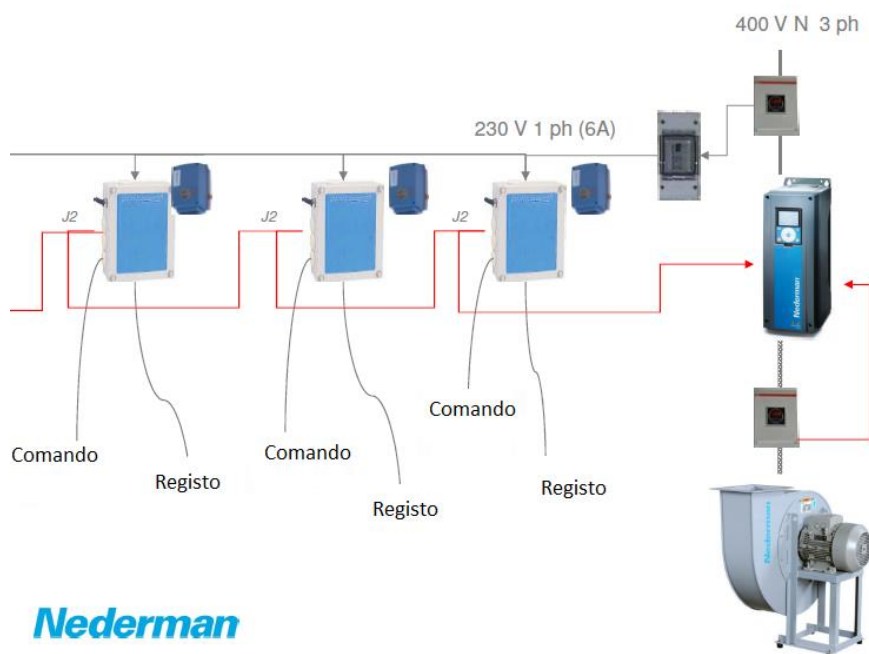


Figura 3.51- Esquema do controlo de funcionamento do ventilador (Catálogo de Produtos Nederman)

3.6.3 Variação de Velocidade dos Ventiladores

O variador de frequência Nederman pode ser reprogramado de origem de acordo com o ventilador associado, sendo equipado com um controlador PID (*Proportional-Integral-Derivative*) e um transdutor de pressão localizado na conduta principal antes da entrada na unidade de filtração, de acordo com a Figura 3.52.

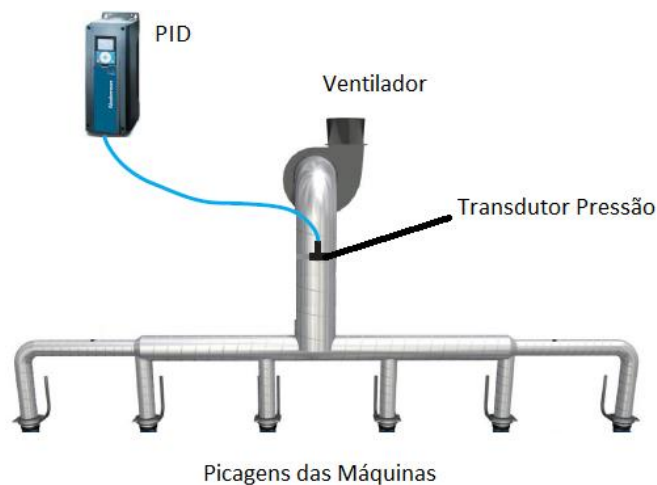


Figura 3.52- Esquema de ligação entre o variador de velocidade e transdutor de pressão (Catálogo de Produtos Nederman)

De acordo com a leitura de pressão do sensor de pressão, o PID permite manter o “*setpoint*” de pressão desejado através de uma pressão negativa constante no sistema de exaustão, que como resultado permite praticamente um caudal constante nas picagens de exaustão das máquinas.

Este controlador permite regular o ventilador da seguinte forma:

- Aumentar a velocidade do ventilador: caso haja uma necessidade acrescida de caudal, devido a aberturas de registos, a pressão negativa do sistema vai baixar, pelo que o PID aumenta a frequência para o motor do ventilador para conseguir compensar essa perda de pressão até chegar ao “*setpoint*” desejado
- Reduzir a velocidade do ventilador: caso haja um decréscimo da necessidade do caudal de extração, devido ao fecho de registos, a pressão negativa do sistema vai aumentar, pelo que o PID diminui a frequência para o motor do ventilador para descompensar essa perda de pressão até chegar ao “*setpoint*” desejado

As vantagens do variador de velocidade são:

- Redução dos custos de funcionamento
- Redução da perda de calor e ruído
- Redução do consumo energético através da regulação da capacidade de exaustão de acordo com a necessidade do sistema de exaustão

Na Figura 3.53 é possível analisar a relação entre a capacidade disponível do ventilador e a respetiva frequência, sendo que, por exemplo, quando a frequência atinge 25 Hz, a capacidade do ventilador reduz-se para metade e a potência total reduz-se para 1/8 do valor nominal.

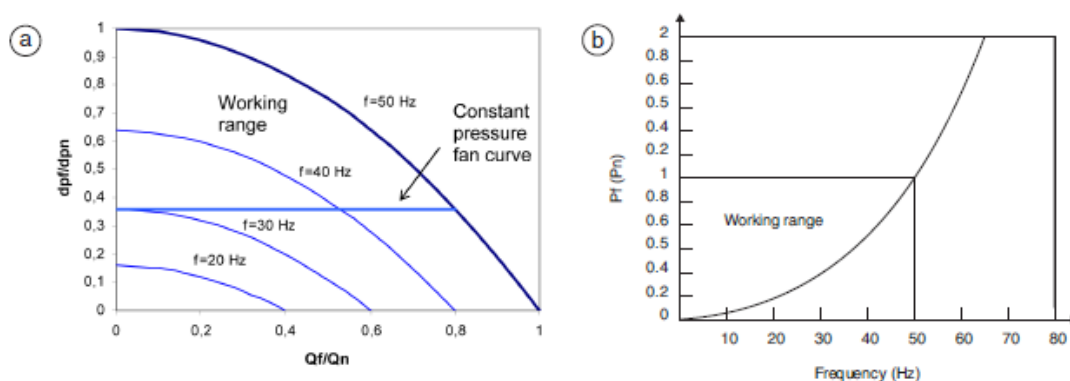


Figura 3.53- Variação dos parâmetros de funcionamento do ventilador em função da frequência
(Accessories Control Equipment – Fan Inverter Installation and Service)

3.6.4 Interruptores de Corte

Todas as unidades padrão estão equipadas com o módulo de arranque/paragem e proteção do motor, sendo que é necessário um interruptor de corte no piso da produção antes do variador de frequência e outro na cobertura, mais propriamente no interior da caixa do ventilador, para um fácil acesso à paragem do motor.

4 ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA DO SISTEMA DE EXAUSTÃO

Neste capítulo pretende-se caracterizar o atual sistema de exaustão do edifício 1 da fábrica em termos energéticos e determinar possíveis poupanças de energia associadas ao seu funcionamento, que poderão servir de referência aquando da implementação da nova solução proposta para o sistema de exaustão.

Por outro lado, pretende-se também determinar e analisar o retorno económico que pode advir do reaproveitamento dos condensados das névoas e fumos de exaustão.

Numa primeira parte deste capítulo é feito um pequeno enquadramento sobre a estratégia energética a nível nacional, no sentido de realçar a importância da eficiência energética e racionalização dos consumos energéticos a nível global e especialmente no setor industrial.

Numa segunda parte são apresentados os dados do consumo de energia elétrica da totalidade da fábrica e ainda estimado o consumo diário do atual sistema de exaustão do edifício 1.

Na subsecção seguinte são identificados os possíveis pontos de desperdício de energia e quantificadas as poupanças de energia da aplicação de algumas medidas no sistema atual de exaustão. Esta análise tem por objetivo dar uma ideia indicativa de possíveis medidas de poupança de energia a serem implementadas aquando da instalação do novo sistema de exaustão.

Neste capítulo é ainda proposto fazer o reaproveitamento individual dos condensados das névoas, relativo a cada zona de operação, para reutilizar nas respetivas centrais dos fluidos e é feita análise económica da implementação desta medida.

4.1 Enquadramento

A energia é um elemento indispensável para o funcionamento das empresas, sendo a sua boa utilização fundamental para garantir a competitividade das mesmas.

O Governo definiu as grandes linhas estratégicas para o sector da energia, estabelecendo a Estratégia Nacional para a Energia (ENE), (aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de abril de 2010, que substitui a anterior Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de outubro).

A Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) assenta sobre cinco eixos principais:

- Eixo 1 – Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira
- Eixo 2 – Aposta nas energias renováveis
- Eixo 3 – Promoção da eficiência energética
- Eixo 4 – Garantia da segurança de abastecimento
- Eixo 5 – Sustentabilidade económica e ambiental

As opções de política energética assumidas na ENE 2020 assumem-se como um fator de crescimento de economia, de promoção da concorrência nos mercados da energia, de criação de valor e de emprego qualificado em sectores com elevada incorporação tecnológica. Estas linhas gerais têm como base a premissa de que Portugal deve ser um país energeticamente eficiente e independente, ou seja, um país competitivo. A dependência energética de Portugal tem vindo a diminuir, com a crescente penetração de energias de fonte renovável, no entanto Portugal ainda é fortemente dependente energeticamente do exterior. À semelhança do que acontece na UE, Portugal para dar resposta às questões energéticas e ambientais deve apostar nas energias renováveis e na eficiência energética (redução do consumo de energia primária).

Portugal, enquanto membro da União Europeia, tem que contribuir para a meta global de redução de 20% do consumo de energia primária até 2020. Foi definido para Portugal uma redução global de 25% no consumo de energia primária e de 30% no caso da Administração Pública.

No seguimento desta estratégia e especificamente para o sector da indústria, surgiu o Sistema de Gestão dos Consumos de Energia (SGCIE) regulado pelo Decreto-Lei 71/2008, que veio atualizar o antigo Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE), criado em 1982 com o Decreto-Lei 58/82.

O SGCIE tem como objetivos principais, a monitorização dos consumos energéticos das instalações industriais Consumidoras Intensivas de Energia (CIE), a promoção da eficiência energética e a diminuição do nível de emissões de gases de efeito de estufa (GEE) dessas instalações. São consideradas instalações Consumidoras Intensivas de Energia (CIE) as instalações industriais cujo consumo anual de energia seja igual ou superior a 500 tep. Estas empresas são obrigadas a realizar auditorias energéticas periódicas e propor um Plano de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn), que caso seja aceite passa a denominar-se de Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE), com o intuito de se atingirem metas de redução dos indicadores energéticos da empresa. O período de implementação do PREn e as metas de redução impostas pela legislação dependem de o valor do consumo anual

ser superior ou igual a 500 tep ou ser superior ou igual a 1000 tep. Os períodos são de 6 e 8 anos e as mestas de redução são de 6% e 4%, respetivamente.

No Plano de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn) devem constar diversas informações tais como: caracterização energética da instalação, os indicadores energéticos da empresa (situação atual), a avaliação técnico-económica das medidas de racionalização de consumos, a serem implementadas com o intuito de serem atingidas as metas de redução dos indicadores energéticas impostas pela legislação, assim como o plano de implementação dessas medidas, entre outras.

Tendo em consideração a legislação em vigor e com o objetivo de verificar se a fábrica Schaeffler Portugal é uma instalação Consumidora Intensiva de Energia (CIE) fez-se o levantamento dos dados energéticos da empresa do ano de 2016. Sendo uma instalação CIE, tem que existir obrigatoriamente um Plano de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn) e consequentemente um Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE).

Com base na informação cedida pela empresa, percebeu-se que fábrica Schaeffler Portugal é uma instalação CIE e que foram realizadas auditorias energéticas em 2009 e 2015, tendo apresentado consumos energéticos superiores a 1000 tep, quer em 2014 (3520 tep) quer em 2008 (3115 tep). Dado que se trata de uma instalação CIE e que o consumo de energia anual da fábrica é superior a 1000 tep/ano, de acordo com a legislação, deve ser realizada uma auditoria energética e um PREn de 6 anos em 6 anos com as seguintes obrigatoriedades:

Devem ser implementadas todas as medidas de racionalização de consumos identificadas que tenham um período de retorno do investimento até 5 anos.

O valor da intensidade carbónica da instalação, ou seja, a razão entre as emissões de GEE (kgCO_2eq) e o consumo total anual de energia (tep), não pode aumentar.

Os indicadores energéticos, a intensidade energética ($\text{tep}/\text{€}$ - consumo total anual de energia/Valor Acrescentado Bruto) e o consumo específico (tep/t - consumo total anual de energia/Produção total), têm que ser diminuídos em 6% no período de 6 anos.

Devem ser enviados para a agência nacional de energia (ADENE), relatórios de execução e progresso bianuais a indicar a evolução da implementação das medidas de melhoria e os resultados obtidos.

Pela análise dos relatórios de auditorias energéticas, verificou-se que o sistema de exaustão do Edifício 1, que é o sistema que está a ser estudado, não foi analisado durante as auditorias energéticas, ou seja, não foi caracterizado o seu consumo energético, nem existe qualquer tipo

de medida referente ao sistema, em nenhum dos relatórios, estando certamente na parcela Outros desses relatórios.

4.2 Análise do Consumo de Energia Elétrica

Esta subsecção tem por objetivo estimar o consumo diário do sistema de exaustão e determinar o seu peso no consumo global de eletricidade da instalação, visto que essa informação não consta dos relatórios de auditorias da instalação.

4.2.1 Consumo Elétrico da Fábrica

Na Figura 4.1 são apresentados consumos de eletricidade mensais da fábrica para o ano de 2016, que foram retirados das faturas de eletricidade da fábrica. De referir que os valores indicados são relativos aos dois edifícios da fábrica e que para o pretendido interessa somente o consumo relativo ao edifício 1, onde está instalado o sistema de exaustão em estudo.

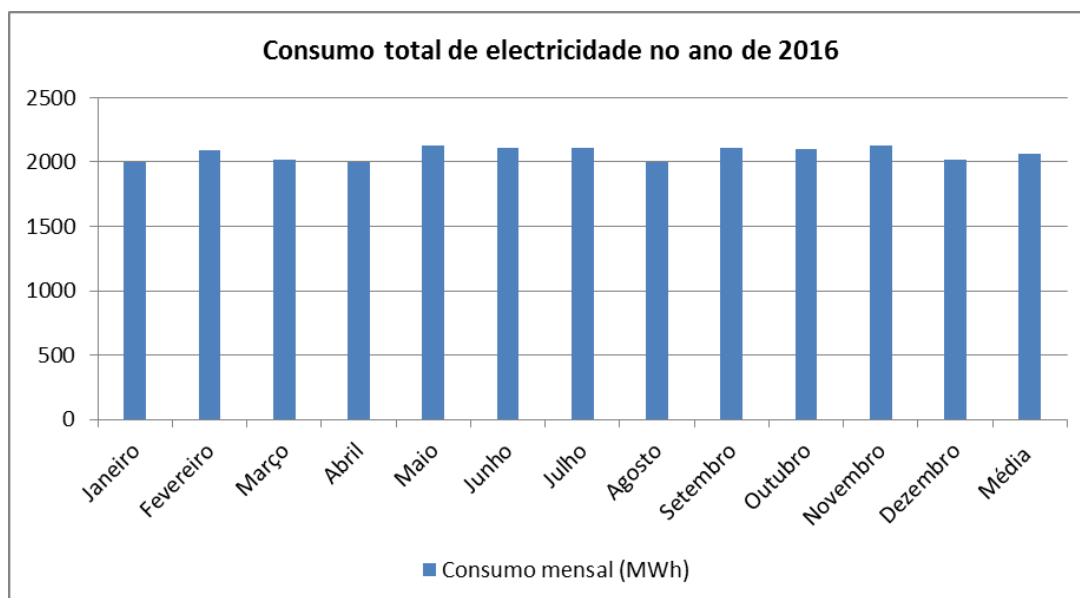


Figura 4.1- Consumos mensais elétricos dos 2 edifícios da fábrica em 2016

Pela análise das faturas de eletricidade de 2016 da fábrica conclui-se que o consumo anual de eletricidade foi de 24807,9 MWh (5333,69 tep), representado um custo total de 1674932 €. Comparando os consumos do mês de maior consumo (maio) e do mês de menor consumo (agosto) com o consumo médio mensal verifica-se que a variação é de cerca de 6,53%. E também pela análise da Figura 4.1 verifica-se que o consumo de eletricidade varia pouco ao longo dos meses, o que se explica por se tratar de uma instalação de laboração contínua que funciona 24 horas por dia, todos os dias do ano. Neste sentido, os dados energéticos médios mensais e diários podem ser utilizados como referência. Pode-se afirmar que o consumo de

eletricidade da fábrica é de cerca de 2067,3 MWh/mês e de 66,7 MWh/dia, o que correspondem a custos de 139578€/mês e de 4502,5 €/dia.

Com o objetivo de determinar o consumo médio diário de eletricidade do edifício 1 da fábrica, foram feitas duas abordagens. Uma delas utilizando os dados da auditoria energética de 2015 e outra fazendo leituras do quadro geral de baixa tensão (QGBT) do Edifício 1.

Pelo relatório auditoria, em 2014, a eletricidade correspondeu a 94% do consumo total de energia da fábrica e o edifício 1 da fábrica representou 49,2% da energia elétrica consumida na fábrica. Aplicando esta percentagem ao consumo total da fábrica pode-se afirmar que o consumo médio mensal e diário do edifício 1 são respetivamente 1017,12 MWh e 32,81 MWh.

As leituras do consumo diário da energia ativa (kWh) foram retiradas dos monitores de leitura da Siemens, modelo SENTRON PAC 3100 localizados no QGBT do edifício 1, durante todos os dias na semana de 07/08/17 a 13/08/17. Considerou-se que seria suficiente fazer as leituras durante uma semana atendendo a que a fábrica tem um regime de produção contínuo durante 24 horas/dia, todos os dias de cada mês, como explicado anteriormente.

Os dados das leituras são apresentados no Quadro 4.1, assim com os consumos diários que correspondem à diferença das leituras entre dois dias consecutivos.

Quadro 4.1- Consumo elétrico diário do edifício 1 da fábrica entre 07/08/17 e 13/08/17

Local	Períodos	Leituras diárias (kWh)	Consumos diário (kWh)	Consumo médio diário (kWh)
Posto de Transformação 1	07/08/2017	50987252,42	38970,44	38522,83
	08/08/2017	51026222,86	40719,60	
	09/08/2017	51066942,46	39921,28	
	10/08/2017	51106863,74	40646,94	
	11/08/2017	51147510,68	35221,38	
	12/08/2017	51182732,06	35657,36	
	13/08/2017	51218389,42		

Analisando os dados, pode-se concluir que durante o fim de semana (12/08 e 13/08) o consumo diário decresce ligeiramente (cerca de 11%), que se pode justificar pelo facto de algumas máquinas estarem paradas ao fim de semana, como se explica mais à frente.

Comparando o consumo médio diário obtido pelas leituras realizadas (38522,8 kWh) com o valor médio estimado pelos dados de 2016 (32810,4 kWh), verifica-se uma diferença de cerca de 17%. No entanto, para determinar o peso do consumo diário elétrico do atual sistema de exaustão (seção 4.2.2), optou-se por utilizar o valor do consumo médio diário de 38522,83 kWh

para o edifício 1 da fábrica, visto que foi obtido por leituras reais realizadas no presente ano de 2017.

4.2.2 Consumo Elétrico do Sistema de Exaustão Existente

Como já referido anteriormente, foi feita uma análise exaustiva aos relatórios de auditorias e em nenhum deles o sistema de exaustão de névoas do edifício 1 da Fábrica é referenciado. Foram analisados os vários diagramas de carga associados ao QGBT do edifício 1 e não foi possível estabelecer qualquer tipo de correspondência com os quadros elétricos das torres de exaustão, que como se pode verificar pela Figura 4.2, não possuem nenhum número de identificação na chapa do quadro, nem nenhum monitor que permitisse a leitura dos dados de consumo.



Figura 4.2- Quadro elétrico de uma das torres de exaustão

Por outro lado, a empresa não possui nenhum analisador de energia compatível com estes quadros, não tendo sido possível obter dados medidos do consumo de energia elétrica das cinco torres de exaustão existentes.

No sentido de determinar o consumo de energia elétrica do sistema de exaustão, optou-se por calcular as potências consumidas de cada motor da seguinte forma:

- Calcular as potências úteis dos ventiladores, a partir da Equação 8, de acordo com os dados (caudal e pressão estática) do Quadro 2.32, que revelam as características dos pontos de funcionamento atuais dos ventiladores de cada torre

$$P_u = \frac{g \times \rho \times Q \times H_{est}}{1000} \quad (8)$$

- Calcular os rendimentos globais para o sistema motor-ventilador de cada torre de exaustão, através da Equação 3, que relaciona o rendimento global com os rendimentos dos ventiladores (Quadro 2.32) e dos motores elétricos (88,70%)

- Calcular as potências consumidas para cada motor, através da relação entre a potência útil e o rendimento global de cada sistema, através da Equação 9:

$$\eta_g = \frac{P_u}{P_{inst}} \Leftrightarrow P_{inst} = \frac{P_u}{\eta_g} \quad (9)$$

Deste modo, calcularam-se as potências consumidas dos cinco motores elétricos das torres de exaustão, de acordo com os atuais pontos de funcionamento, e determinaram-se os consumos diários, que se apresentam no Quadro 4.2.

Para o cálculo, considerou-se que os dados de funcionamento dos ventiladores (caudal e pressão) são sempre constantes ao longo do dia, uma vez que os registos manuais, localizados nos pontos de extração das máquinas, estão sempre na mesma posição. Também se considerou um período de funcionamento para os motores das torres de exaustão, de 24h/dia, uma vez que o sistema se encontra sempre ligado, independentemente da produção. Ou seja, considerou-se um regime de funcionamento constante, em que para determinar a energia consumida, a potência consumida foi multiplicada pelas horas de funcionamento.

Quadro 4.2- Potências instaladas e consumos diários dos motores elétricos das torres de exaustão

Torres de Exaustão	Potências úteis (kW)	Rendimento global do sistema (%)	Potências de consumo (kW)	Tempo (horas)	Consumos elétricos diários (kWh)	Consumo elétrico total diário (kWh)	Consumo elétrico total mensal (kWh)
Torre 1	3,13	71,85	4,35	24	104,45	576,49	17294,73
Torre 2	3,78	74,51	5,08		121,83		
Torre 3	3,53	70,96	4,97		119,38		
Torre 4	3,40	69,19	4,91		117,80		
Torre 5	3,47	73,62	4,71		113,04		

Com base nos cálculos realizados estimou-se que a potência consumida média total do sistema de exaustão é de 24,02 kW, o que corresponde a um consumo de eletricidade diário de cerca de 576,5 kWh. Este valor de consumo corresponde somente a 1,5% do consumo global de eletricidade do edifício 1 da Fábrica, não sendo por isso um sistema de consumo intensivo de energia, o que justifica não estar referenciado em nenhum dos relatórios de auditoria energética. No entanto, após análise dos períodos de funcionamento das máquinas que necessitam de exaustão, foi possível perceber que podem ser implementadas ações que poderão levar a poupanças de energia a nível do sistema de exaustão.

4.3 Medidas de Poupança de Energia Elétrica

Neste subcapítulo pretende-se identificar oportunidades de racionalização de consumo tendo em conta que o sistema de exaustão atual está sempre em funcionamento, 24h/dia todos os dias,

independentemente dos turnos de funcionamento das máquinas das diferentes zonas de produção que necessitam de exaustão.

Pode-se considerar que o sistema de exaustão funciona com um regime/ carga constante, visto que os registos reguladores de caudais são manuais e a sua posição não é alterada, levando a que independentemente das necessidades, o caudal seja sempre constante.

Numa primeira fase são identificadas as situações em que existe desperdício de energia e de seguida são estimadas as poupanças de energia para duas soluções técnicas distintas. Uma em que os registos que regulam o caudal seriam ajustados em função do número de máquinas que estão em funcionamento, o que se traduz numa situação de estrangulamento. Outra em que o ajuste do caudal seria feito de forma automática a partir da variação de velocidade aplicada aos ventiladores, em função do número de máquinas em funcionamento.

Nos capítulos anteriores foi demonstrado que a capacidade de exaustão atualmente instalada é insuficiente e que não são cumpridos os níveis mínimos exigidos, e daí ter sido proposta uma ampliação do sistema existente. Nesse sentido, esta análise para o sistema atual pode parecer inadequada. No entanto, o principal objetivo desta análise é alertar e sensibilizar para a importância de minimizar os desperdícios energéticos, dando um valor indicativo das poupanças energéticas que se podem obter, e por outro lado realçar as vantagens da utilização de variadores de velocidade em situações de solicitação de caudais variáveis.

4.3.1 Identificação e Caracterização dos Desperdícios

Como referido, o sistema de exaustão existente, nomeadamente os motores elétricos e respetivos ventiladores, se encontram sempre ligados, independentemente dos turnos de funcionamento das máquinas das diferentes zonas de produção. Como os pontos de extração ficam sempre abertos, visto que o sistema de regulação dos registos é manual, o sistema de exaustão acaba por funcionar sempre no mesmo regime, independentemente das paragens de laboração.

Nesse sentido, a presente análise refere-se à identificação dos momentos de paragem de funcionamento das várias zonas de produção, que se traduzem em desperdício de energia relativo ao sistema de exaustão e que são apresentados em seguida:

- 1) Paragens Programadas: a fábrica funciona em laboração contínua, 24horas/dia, durante todos os dias dos meses, à exceção de um dia por mês, num domingo de paragem, na qual as máquinas param totalmente para operações de manutenção e serviços externos. Apesar desse dia oficial de paragem, não se desligam efetivamente os moto-ventiladores

das torres de exaustão, nos respetivos quadros elétricos, pelo que existe um desperdício de energia associado ao funcionamento dos motores elétricos durante este dia de paragem mensal.

- 2) Regime de Turnos: em cada semana, existe efetivamente uma redução no regime de produção, na qual algumas das linhas de produção, montagem, zona central e células são desligadas, dependendo do regime de turnos. As máquinas que trabalham no regime de 21 turnos trabalham continuamente à exceção de 1 dia por mês (domingo de paragem). No regime de 18 turnos as máquinas trabalham todos os dias da semana à exceção dos 4 domingos do mês. No regime de 15 turnos as máquinas trabalham apenas nos 5 dias úteis da semana e no regime de 12 turnos as máquinas associadas trabalham apenas 4 dias úteis. De referir que independentemente do tipo de regime de produção, os dias de funcionamento englobam sempre 24 horas por dia.
- 3) Paragens Pontuais: durante a laboração contínua existem paragens de máquinas por avarias e existe um tempo morto que começa com a paragem da máquina, período de reparação e manutenção e arranque da máquina.

Apesar do sistema de exaustão não se tratar de um consumo intensivo de energia, existem, contudo, estas três situações de possível melhoria, em termos de racionalização e redução dos consumos energéticos do edifício 1 da fábrica. No entanto, na situação 3 não é possível quantificar a energia associada, visto que se tratam de situações aleatórias e muito variáveis ao longo dos dias e meses.

Perante este cenário e de acordo com o atual sistema de exaustão, a forma mais económica de evitar estes desperdícios seria através de formação e sensibilização dos operadores das máquinas para que, aquando da ocorrência de cada um dos três casos, se realizasse o fecho manual dos registos das máquinas.

Contudo, dado que este procedimento é manual e com grande probabilidade de falhas, foram propostos, para as novas soluções do sistema de exaustão, equipamentos novos de controlo, gestão e monitorização do sistema, descritos no capítulo anterior.

Essas soluções passam pela aquisição de registos automáticos e variadores de velocidade, que apesar do investimento necessário, são justificáveis na ótica de tornar o sistema mais fiável e eficiente em termos de consumos energéticos.

4.3.2 Poupanças Energéticas associadas aos Registos Automáticos

As várias poupanças calculadas neste ponto são determinadas, assumindo que existem registos automáticos nas picagens individuais de todas as máquinas presentes nas três zonas de operação.

Na situação 1, em que todas as máquinas param um Domingo por mês, o sistema de exaustão poderia ser totalmente desligado. Desta forma a energia poupada mensal com esta medida é igual ao consumo médio diário estimado na Secção 1.2.2, que é de 576,5 kWh. Este valor corresponde a uma poupança mensal de 3,33% no consumo total mensal do sistema de exaustão.

Para a situação 2 é apresentado no Quadro 4.3 o plano de turnos de funcionamento das máquinas, consoante as zonas de operação.

Quadro 4.3- Plano de produção das linhas das máquinas em função dos turnos

Turnos	Dias/semana	Zonas	Linhas
21 T	7/7	Central	1, 2, 5/6A, 7/8 A e B, 9/10 B, 11/12 A e B, 13/14 A, 15/16 B, 17/18 A
		Montagem	1, 2, 6a e 6/7
18 T	6/7	Central	9/10 A, 15/16 A, 17/18 B
		Células	1 e 2
		Montagem	8/9 e 10/11
15 T	5/7	Central	3/4 A e B, 5/6 B, 13/14B
		Montagem	3, 4, 5, 12/13, 14a
		Células	4
12 T	4/7	Montagem	14/15 e 16/17

De acordo com este plano, as linhas que trabalham no regime de 12, 15 e 18 turnos são aquelas que interessam analisar, uma vez que as máquinas associadas a esse regime apenas trabalham 4, 5 e 6 dias, respetivamente. Apesar dessas máquinas estarem paradas durante 1, 2 ou 3 dias consoante o turno, os registos manuais das picagens dos pontos de exaustão ficam sempre na mesma posição, pelo que o sistema de exaustão funciona da mesma forma como se elas estivessem sempre a funcionar, à semelhança do que acontece no regime de 21 turnos.

No Quadro 4.4 são apresentadas e identificadas as linhas de produção que interessam analisar.

Quadro 4.4- Plano de paragem das linhas de produção em função das zonas de produção e turnos

Zonas	Turnos	Linhas de produção
Montagem	18 T	8/9 e 10/11
	15 T	3, 4, 5, 12/13, 14a
	12 T	14/15 e 16/17
Central	18 T	9/10 A, 15/16 A, 17/18 B
	15 T	3/4, 5/6 B, 13/14B
Células	18 T	1 e 2
	15 T	4

As novas potências consumidas dos cinco motores elétricos dos ventiladores, para cada torre de exaustão, tendo em conta a redução da necessidade de exaustão derivada do funcionamento

dos turnos, devem ser calculadas de forma a serem comparadas com as potências iniciais (Quadro 4.2), para determinar as poupanças energéticas possíveis associadas ao sistema de registo automático das picagens das máquinas.

Para se efetuar esta análise utilizou-se o seguinte procedimento de cálculo:

- Identificar os dias de paragem das máquinas consoante os tipos de turnos, conforme apresentado no Quadro 4.5.

Quadro 4.5- Dias de funcionamento e paragem das máquinas associadas aos respetivos turnos

Turnos	Dias em Funcionamento, em cada semana		Dias em Paragem, em cada semana	
	N.º	Dias	N.º	Dias
18 T	6	2f até sábado	1	Domingo
15 T	5	2f até 6f	2	Sábado e Domingo
12 T	4	2f até 5f	3	6f, Sábado e Domingo

- Identificar os dias a considerar nos cálculos das potências e número de horas de paragem consoante os tipos de turnos, conforme apresentado no Quadro 4.6. Como já foi considerado um domingo de paragem total, no caso do dia de paragem ao domingo, só se consideraram 3 dias por mês, ou seja, 72 horas.

Quadro 4.6- Dias de cálculo e respetivos tempo de paragem das máquinas associadas aos respetivos turnos

Turnos	Dias de paragem das máquinas em cada semana	Dias a considerar nos cálculos das potências	Horas de paragem por mês	Notas
18 T	Domingo	Domingo	72	Todos os domingos à exceção do domingo de paragem do ponto 1
15 T	Sábado e Domingo	Sábado	96	Todos os sábados
12 T	6f, Sábado e Domingo	6feira	96	Todas as 6feiras

- Identificar para cada torre de exaustão, os caudais individuais de exaustão de cada máquina, consoante a zona de operação. Dado que foi apenas possível quantificar o caudal total de exaustão de cada torre, considerou-se que o caudal individual de cada máquina seria o caudal total a dividir pelo número de máquinas ligadas a cada torre de exaustão, conforme apresentado no Quadro 4.7.

Quadro 4.7- Caudal médio individual das máquinas consoante a ligação às torres de exaustão

Torres	Linhas	Caudal Total	Número máquinas		Caudal Unitário
		m³/h			m³/h/máquina
1	12/13	5714	22	48	119,04
	16/17		26		
2	10/11	7986	26	43	185,72
	18		17		
3	6/7	10247	21	44	232,89
	8/9		23		
4	1	10915	13	32	341,09
	2/3		19		
5	4/5	6570	15	52	126,35
	14/15		37		
Total		41432	219		-

- Calcular os caudais evitados, tendo em conta as máquinas que se encontram paradas em cada dia para cada torre de exaustão, e calcular os novos caudais em funcionamento, pela diferença entre os caudais iniciais totais do Quadro 2.32 e os caudais evitados, conforme apresentado no Quadro 4.8. De realçar que no caso do dia de paragem ao domingo, deve-se considerar os caudais evitados das máquinas paradas dos 3 turnos (18T, 15T e 12T), visto que as máquinas correspondentes param todas ao domingo. No caso do dia de paragem ao sábado deve-se considerar os caudais evitados das máquinas dos turnos 15T e 12T e no caso do dia de paragem à 6ªfeira apenas se deve considerar o caudal evitado do turno 12T.

Quadro 4.8- Caudais de funcionamento das torres de exaustão após redução de caudal nos dias de paragem

Torres	Dias de paragem	Zonas	Linhas	Caudal evitado (m ³ /h)		Caudal em funcionamento (m ³ /h)
Torre 1	Domingo	Montagem	10 e 11	476,17	2618,92	2618,92
		Central	16A e 17B	1190,42		
		Células	1 e 2A	952,33		
	Sábado	Central	13B	476,17	476,17	5237,83
Torre 2	Domingo	Montagem	8 e 9	1485,77	3157,26	1857,21
		Central	10A e 18B	1671,49		
	Sábado	Montagem	14/15 e 16/17	1485,77	1485,77	6500,23
	6feira	Montagem	14/15 e 16/17	1485,77	1485,77	6500,23
Torre 3	Domingo	Central	9A	931,55	931,55	6520,82
	Sábado		6B	2794,64	2794,64	7452,36
Torre 4	Sábado	Central	3	3752,03	3752,03	7162,97
Torre 5	Domingo	Central	15A	505,38	758,08	1516,15
		Células	2B	252,69		
		Montagem	12 e 13	1516,15		
	Sábado	Central	4, 5B e 14B	2021,54	4295,77	2274,23
		Células	4	758,08		

- Identificar, para cada torre e respetivo dia de paragem, os pontos de funcionamento na curva característica dos ventiladores (Figura 4.3), através do caudal de funcionamento calculado na tabela anterior, e retirar os valores das grandezas necessárias para calcular os novos valores das potências consumidas/absorvidas, a partir das Equações 8 e 9,

conforme apresentado no Quadro 4.8. O caudal mínimo na curva característica é de 3800 m³/h, logo nas situações em que o caudal em funcionamento era inferior, foi ajustado para este valor de caudal mínimo.

Quadro 4.9- Potências consumidas dos ventiladores das torres consoante os respetivos dias de paragem

Torres	Dias Paragem	Caudal final (m ³ /h)	Pressão estática H (Pa)	Pressão estática H (mca)	Rendimento Ventilador (%)	Rendimento Global (%)	Potência Absorvida (kW)
Torre 1	Domingo	3800	2070	186,90	71,00	62,98	3,47
	Sábado	5238	2035	183,74	79,00	70,07	4,23
Torre 2	Domingo	3800	2070	186,90	71,00	62,98	3,47
	Sábado	6500	1900	171,55	83,00	73,62	4,66
	6feira	6500	1900	171,55	83,00	73,62	4,66
Torre 3	Domingo	6521	1900	171,55	84,00	74,51	4,62
	Sábado	7452	1770	159,81	84,00	74,51	4,92
Torre 4	Sábado	7163	1830	165,23	84,00	74,51	4,89
Torre 5	Domingo	3800	2070	186,90	71,00	62,98	3,47
	Sábado	3800	2070	186,90	71,00	62,98	3,47

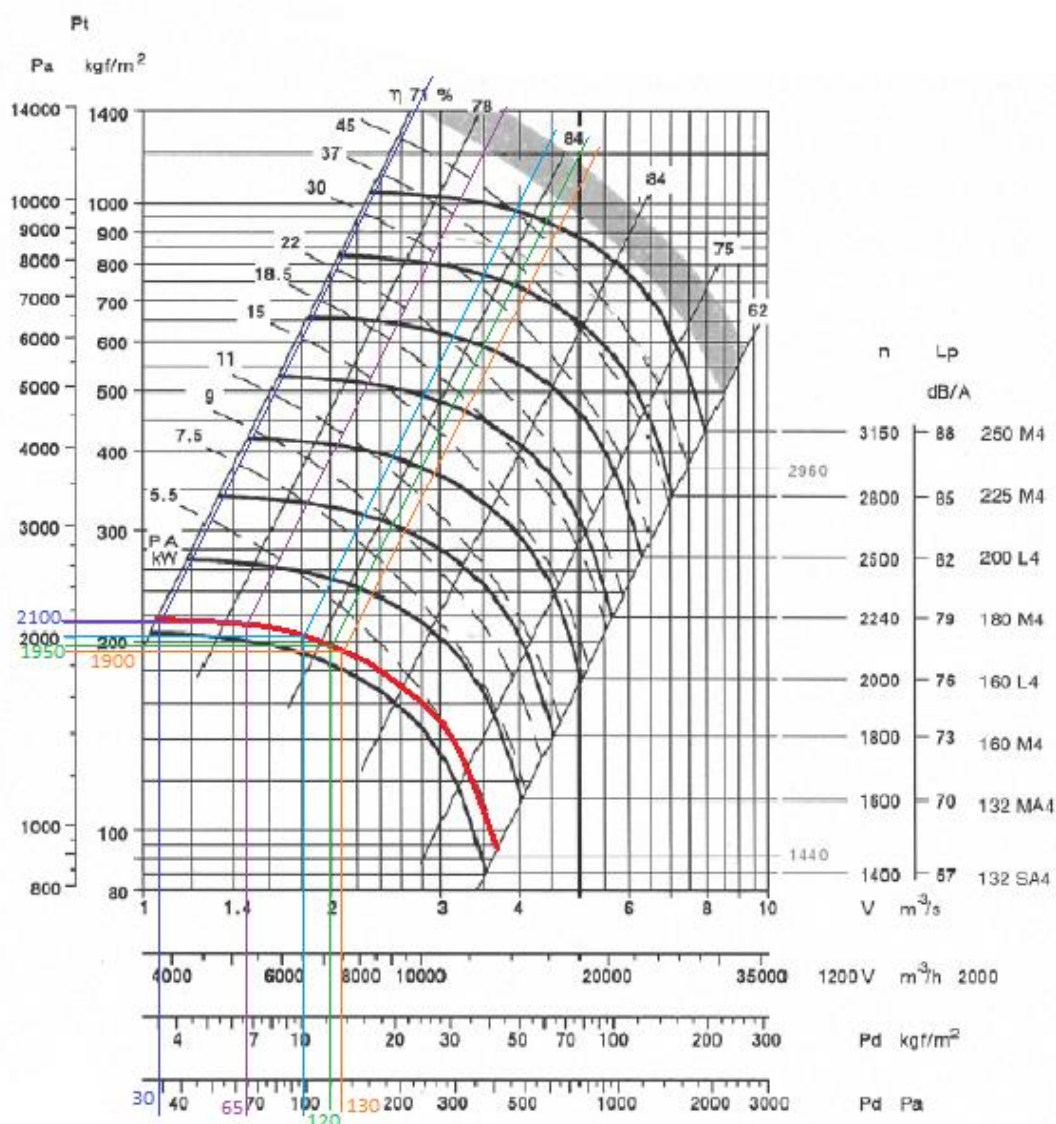


Figura 4.3- Identificação dos pontos de funcionamento dos ventiladores após redução de caudal

- Calcular as potências evitadas, para cada torre e respetivo dia de paragem, pela diferença entre as potências iniciais (Quadro 4.2) e as novas potências consumidas (Quadro 4.9). Multiplicando as potências evitadas pelas horas de paragem semanais, identificadas no Quadro 4.6, determinam-se as poupanças energéticas associadas a cada ventilador, conforme apresentado no Quadro 4.10.

Quadro 4.10-Potências evitadas e poupanças energéticas dos dias de paragem por registos automáticos

Torres	Dias Paragem	Potência Absorvida (kW)	Potência Evitada (kW)	Tempo parado num mês (horas)	Poupança Energética Mensal (kWh)	Poupança Energética Mensal Total (kWh)
Torre 1	Domingo	3,47	0,88	72	63,54	512,73
	Sábado	4,23	0,13	96	12,16	
Torre 2	Domingo	3,47	1,61	72	115,69	
	Sábado	4,66	0,42	96	39,97	
	6feira	4,66	0,42	96	39,97	
Torre 3	Domingo	4,62	0,35	72	25,56	
	Sábado	4,92	0,06	96	5,40	
Torre 4	Sábado	4,89	0,02	96	2,04	
Torre 5	Domingo	3,47	1,24	72	89,31	
	Sábado	3,47	1,24	96	119,08	

Esta medida traduz-se numa poupança mensal de 512,7 kWh que corresponde a cerca de 3% do consumo mensal do sistema de exaustão.

Relativamente à situação 3 identificada como oportunidade de racionalização de consumos, para se quantificar as poupanças energéticas devido aos tempos de paragem das máquinas por avaria, seria necessário dados sobre as características das avarias individuais de cada máquina, nomeadamente a identificação da máquina e horário de paragem e arranque. Estes dados, à semelhança do que foi feito para a situação 2, permitiriam calcular os caudais evitados num determinado tempo. Contudo, não foi possível obter este tipo de dados, pelo que não se quantifica a redução dos consumos, apesar de se saber que, na realidade, dada a densidade atual de máquinas.

As poupanças de energia estimadas para a situação 1 e 2, traduzem-se consequentemente em poupanças económicas mensais. Para quantificar essas poupanças económicas calculou-se o preço médio do kWh para a Fábrica, visto que a instalação tem uma tarifa de eletricidade tetra-horária, ou seja o preço da eletricidade varia consoante o período que esta é consumida (horas de ponta, cheia, vazio e super vazio). O preço médio foi determinado com base nos dados de três faturas de eletricidade do ano de 2017, dividindo o custo total da fatura, associada à energia ativa, sem contar com o custo associado às potências e impostos, pelo consumo da energia ativa (total de kWh) total desses três meses, tendo-se chegado ao preço médio de 0,08645€/kWh.

Quadro 4.11-Poupanças energéticas e económicas mensais através de registos automáticos

Pontos	Poupança energética mensal	Tarifa média calculada	Poupança económica mensal
	kWh	€/kWh	€
1	576,49	0,08645	49,84
2	512,73		44,33
Total	1089,22		94,16

De acordo com o Quadro 4.11, a poupança mensal calculada (tanto a nível de energia como económica) corresponde a:

- 6,30 % do consumo e custo total mensal do sistema de exaustão existente, de acordo com o consumo elétrico total do Quadro 4.2
- 0,10 % do consumo e custo total mensal do edifício 1, conforme o consumo elétrico total do Quadro 4.1.

4.3.3 Poupanças Energéticas associadas aos Registos e Variadores de Velocidade

Nesta subsecção pretende-se calcular as poupanças energéticas para uma solução em que para além dos registos automáticos nas picagens individuais de todas as máquinas, os ventiladores têm variação de velocidade.

Na situação 1, a poupança de energia é exatamente a mesma da que a que foi apresentada na Secção 1.3.1, visto que no Domingo de paragem o sistema de exaustão pode ser completamente desligado (ambas as soluções podem prever a paragem automática do sistema de exaustão).

Na situação 2 é possível calcular as potências consumidas dos cinco motores elétricos dos ventiladores, para cada torre de exaustão, tendo em conta a redução da necessidade de exaustão derivada do funcionamento dos turnos, e comparar com as potências iniciais, registadas no Quadro 4.2, no sentido de se calcular as poupanças energéticas possíveis associadas ao sistema de variação de velocidade.

Na situação 2, devido à redução da necessidade de exaustão por algumas máquinas estarem paradas, o caudal vai ser reduzido por variação de velocidade dos ventiladores e não por estrangulamento. Embora se considere os mesmos valores de caudal evitado, as potências consumidas terão valores diferentes e devem ser novamente calculadas, de forma a obter os novos valores de potência evitada e consequentemente as novas poupanças de energia.

Para efetuar esta análise seguiu-se o seguinte procedimento de cálculo:

- Considerar os valores dos caudais finais presentes no Quadro 4.8, que representam os caudais em funcionamento, para cada dia em cada torre

- Calcular a velocidade de rotação do ventilador das torres para cada valor de caudal final, através da Equação 10 do coeficiente global, entre o ponto desejado (P1) e o ponto inicial/original (P), representados na Figura 4.4.

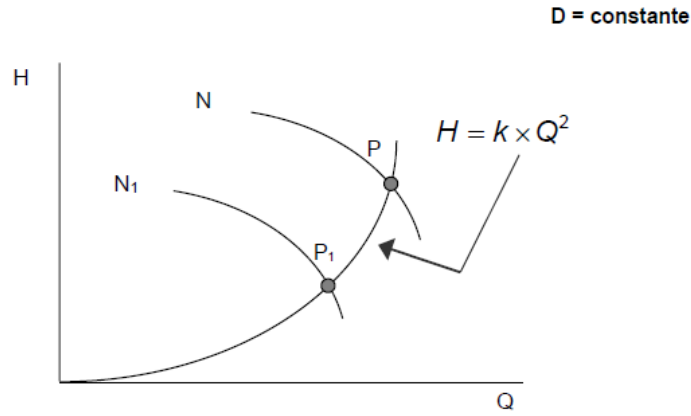


Figura 4.4- Parábola dos pontos equivalentes

$$\frac{Q}{N \times D^3} = \frac{Q_1}{N_1 \times D_1^3} \Leftrightarrow N_1 = \frac{Q_1}{Q} \times N \quad (10)$$

- Calcular a potência absorvida de cada ventilador, para cada valor de caudal final, através da Equação 11 relativa ao coeficiente de potência, considerando que o diâmetro e a massa volúmica são constantes, uma vez que o ventilador e o fluido são os mesmos, respetivamente.

$$\frac{P}{\rho \times N^3 \times D^5} = \frac{P_1}{\rho \times N_1^3 \times D_1^5} \Leftrightarrow P_1 = P \times \frac{N_1^3}{N^3} \quad (11)$$

- Calcular as novas potências evitadas pela diferença entre as potências iniciais (Quadro 4.2) e as novas potências consumidas calculadas (P1). Multiplicando as potências pelas horas de paragem semanais (Quadro 4.6), obtém-se as poupanças energéticas por cada para cada torre, como apresentado no Quadro 4.12.

Quadro 4.12-Potências evitadas e poupanças energéticas dos dias de paragem por variação de velocidade

Torres	Dias Paragem	Caudal final (m³/h)	Número de Rotações Final	Potência Absorvida (kW)	Potência Evitada (kW)	Tempo parado num mês (horas)	Poupança Energética Mensal (kWh)	Poupança Energética Mensal Total (kWh)
Torre 1	Domingo	3800	958	1,28	3,07	72	221,19	2628,19
	Sábado	5238	1320	3,35	1,00	96	95,99	
Torre 2	Domingo	3800	685	0,55	4,53	72	326,12	
	Sábado	6500	1172	2,74	2,34	96	224,53	
	6feira	6500	1172	2,74	2,34	96	224,53	
Torre 3	Domingo	6521	916	1,28	3,69	72	265,84	
	Sábado	7452	1047	1,91	3,06	96	293,82	
Torre 4	Sábado	7163	945	1,39	3,52	96	338,02	
Torre 5	Domingo	3800	833	0,91	3,80	72	273,50	
	Sábado	3800	833	0,91	3,80	96	364,67	

Deste modo, evitando este desperdício energético, poupar-se-ia 15,20 % do consumo total mensal do sistema de exaustão, o que permite concluir que a poupança de energia devido à redução de caudal por variação de velocidade é bastante superior do que por estrangulamento.

No Quadro 4.13 são apresentadas as poupanças globais (situação 1 e 2) e determinados os custos evitados associados.

Quadro 4.13-Poupanças energéticas e económicas mensais através de variadores de velocidade

Pontos	Poupança energética mensal	Tarifa média calculada	Poupança económica mensal
	kWh	€/kWh	€
1	576,49	0,08645	49,84
2	2628,19		227,21
Total	3204,68		277,04

De acordo com a tabela anterior a poupança mensal calculada (tanto a nível de energia como económica) corresponde a uma redução de:

- 18,53 % do consumo e custo total mensal do sistema de exaustão existente, de acordo com o consumo elétrico total do Quadro 4.2
- 0,28 % do consumo e custo total mensal do edifício 1, conforme o consumo elétrico total do Quadro 4.1

No Quadro 4.14 são apresentadas as poupanças associadas às duas soluções estudadas, só registos automáticos e variadores de velocidade com registos automáticos.

Quadro 4.14-Poupanças económicas mensais das soluções de poupança energética

Pontos	Poupança energética mensal	Poupança económica mensal
	kWh	€
Registos	1089,22	94,16
Registos + Variadores	3204,68	277,04

Estes resultados permitem concluir que a opção da utilização dos variadores de velocidade com os registos automáticos representa poupanças 3 vezes superiores à opção de apenas utilizar registos automáticos.

Deste modo, em termos de eficiência energética, é conveniente a integração destes equipamentos no novo sistema de exaustão, ou seja, é recomendável a aquisição e instalação de variadores de velocidade nas novas unidades de filtração, que foram selecionadas no capítulo anterior, assim como registos elétricos automáticos nas picagens de cada máquina.

A interligação entre estes equipamentos de controlo e gestão do sistema de exaustão foi definida e explicada no Capítulo 3.5.

Embora as poupanças energéticas obtidas nesta análise possam parecer residuais quando comparadas com o consumo global do edifício 1, se a meta de redução de consumo de 6% aplicada à fábrica fosse transposta para o sistema de exaustão, o objetivo seria alcançado, mesmo só com a instalação de registos automáticos sem variação de velocidade dos ventiladores.

4.4 Sistema de Recolha de Névoas

Neste subcapítulo pretende-se quantificar as poupanças económicas que se consegue obter através de mudanças do atual sistema de recolha de névoas, em termos de otimização e interligação com o novo sistema de exaustão proposto no Capítulo 3.

As soluções propostas neste capítulo estão representadas nas peças desenhadas no Anexo I.

4.4.1 Sistema Atual de Retorno de Névoas

Neste momento, dado que o atual sistema de exaustão liga todas as zonas de operação, as névoas condensadas são direcionadas em tubagens de retorno, desde a caixa de retenção das colunas filtrantes das torres de exaustão até a um tanque existente, nomeadamente uma cuba de plástico.

Esta cuba (Figura 4.5) encontra-se localizada nas centrais, piso inferior relativamente ao piso da produção, e retém toda a condensação do sistema de exaustão. Atualmente, esta cuba não pode ser aproveitada, porque representa uma mistura não homogénea de todos os tipos de fluidos das três zonas de operação, sendo redirecionada para a recolha de resíduos.

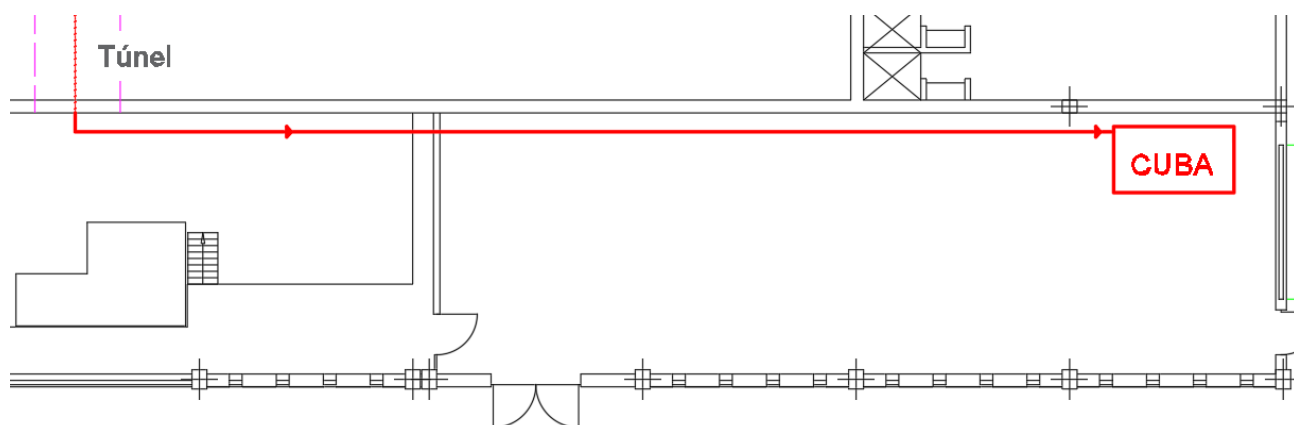


Figura 4.5- Localização da cuba de recolha das névoas na cave das centrais

Sabendo que cada cuba tipo, usada neste âmbito, tem uma capacidade de 1250 litros e em média se enche a cada 4 dias, logo tem-se uma produção média de condensados de 312,50 litros/dia.

Os recursos disponibilizados pelo laboratório da Schaeffler Portugal não permitem identificar a proporção de cada um desses fluidos na mistura que se encontra nessas cubas.

A partir dos caudais de exaustão à saída das chaminés das torres de exaustão é possível associar a produção dos condensados com o caudal existente, como apresentado no Quadro 4.15.

Quadro 4.15-Relação entre o caudal de exaustão e produção de névoas

Parâmetros	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4	Torre 5
Caudal total (m ³ /h)	5714	7986	10247	10915	6570
	41432				
Volume total extraído (m ³ /dia)	994368				
Volume produzido névoas (m ³ /dia)	0.313				
Percentagem de condensados (%)	3.15E-5				

A partir deste quadro pode-se concluir que a produção de condensados de névoas representa uma porção bastante pequena do volume que é extraído pelo atual sistema de exaustão para a atmosfera.

Consultando os consumos diários dos fluidos, usados nas máquinas da produção, disponibilizam-se os valores médios de consumo (Quadro 4.16) que têm servido de referência para a realização das encomendas mensais prévias para reposição de stock.

Quadro 4.16-Consumos mensais dos fluidos de produção

Fluidos	EXXS	EMS	VRC	HNL
Consumos mensais (litros)	5000	2000	15000	7500
Consumo total mensal (litros)	29500			
Consumo médio diário (litros)	983			

Deste modo, pode-se concluir que o atual sistema de exaustão aspira diariamente cerca de 983 litros de uma mistura vaporizada de óleos de corte, na qual aproximadamente 32% (313 litros)

se condensa na rede e nas torres de exaustão indo diretamente para a cuba de recolha de névoas, enquanto os restantes 68% se perdem da seguinte forma:

- Fugas pelas máquinas de produção (evidenciado por escorrimentos das máquinas para o pavimento)
- Fugas pelas condutas de exaustão (evidenciado por escorrimentos de óleo pelas juntas e acessórios das condutas)
- Fugas pela estrutura das torres de exaustão (evidenciado por escorrimentos de óleo pelas portas das torres e pela voluta dos ventiladores)
- Retenção e absorção pelos atuais filtros das torres
- Possivelmente ainda na exaustão direta para a atmosfera (passagem pelos filtros devido a rompimentos, não sendo possível ter a certeza devido à ausência dos manómetros).

4.4.2 Sistema Novo de Retorno de Névoas

Dado que um dos objetivos do trabalho é a segregação individual para reaproveitamento dos condensados das névoas de exaustão, é necessário criar e modificar tubagens de recolha dos condensados, dependendo da zona de operação, para serem diretamente direcionados para as centrais que abastecem os respetivos fluidos à produção.

Uma vez que os condensados provenientes das névoas não se encontram num estado adequado para abastecer diretamente as máquinas da produção, o retorno dos condensados deve ser direcionado para os tanques sujos das centrais. Todas as centrais têm um circuito fechado de filtração na qual o óleo do tanque sujo é filtrado e encaminhado para o tanque limpo que seguidamente é enviado para a produção através dos grupos de bombagem.

À semelhança das atuais torres de exaustão, as novas unidades autónomas de filtração permitem a condensação dos fluidos pesados que, por gravidade, se acumulam no fundo do equipamento, mais propriamente no cárter. Este tipo de unidades permite a ligação do cárter a equipamentos e acessórios externos, tais como tubagens e válvulas, para evitar a acumulação de névoas no cárter e permitir o seu escoamento, neste caso, para todas os tanques sujos das centrais, de forma a ser filtrado e reencaminhado novamente para os equipamentos das zonas de produção.

Na zona da montagem, na qual se trabalha apenas com o fluido EXXS (líquido de lavagem não gorduroso), deve-se instalar uma tubagem de retorno 3/4" de aço galvanizada que deve sair da unidade autónoma (localizada na cobertura) e descer até à zona do piso fabril até encontrar o túnel (localizado entre a zona central e da montagem) que se encaminha para a zona das centrais.

Esta tubagem de retorno segue todo o túnel até encontrar o acesso ao piso inferior das caves das centrais, onde realiza a descarga por gravidade no tanque sujo, de acordo com a Figura 4.6.

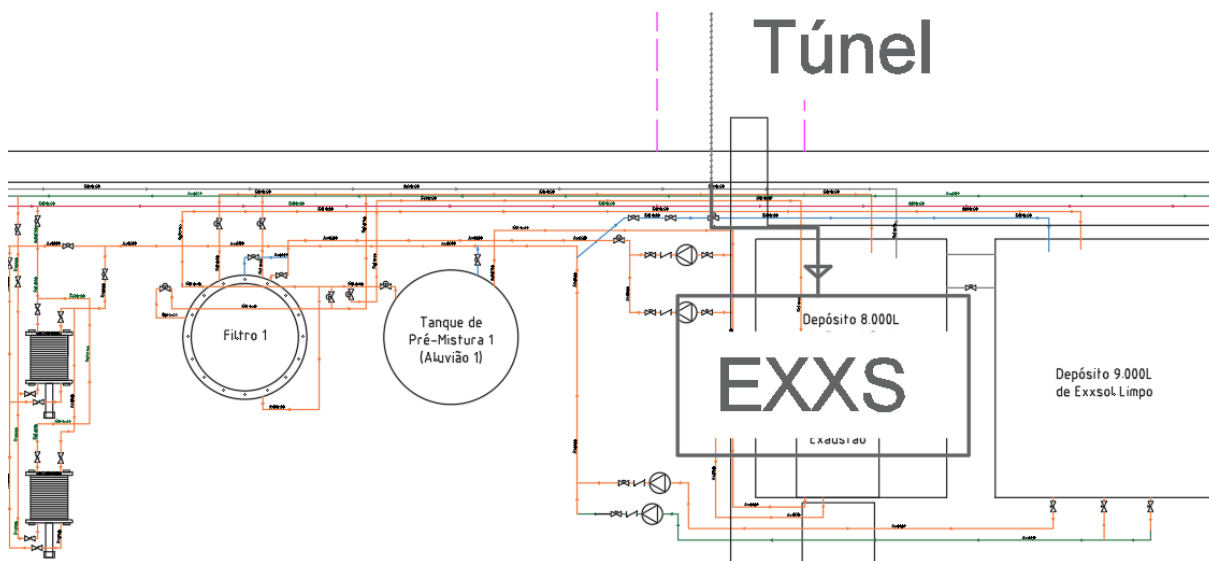


Figura 4.6- Traçado do circuito de retorno de névoas da montagem para o tanque sujo da central de EXXS

Na zona central, pretende-se que os óleos recuperados das colunas de filtração das atuais torres e das novas unidades de filtração se unem, pelo que se deve prever um retorno de 3/4", em aço galvanizado, das caixas de retenção das duas unidades novas até ao retorno existente na zona central que é encaminhado para o túnel (localizado no corredor entre a zona central e células).

Na zona das células, existe uma mistura de fluidos de lavagem com óleos de corte, contudo, de acordo com o grupo Schaeffler, os vapores de exaustão do fluido EXXS são muito menos densos e sujos do que os fluidos HNL e VRC (óleos de corte inteiros) e EMS (óleo de corte solúvel). Por essa razão, os vapores de exaustão dos circuitos das células possuem uma relação/proporção de mistura muito maior de HNL+VRC+EMS do que EXXS.

Deste modo, pode-se anular o retorno principal para a cuba nas centrais e substituir por um novo retorno através da instalação de um novo traçado até à zona do tanque sujo da central de retificação, uma vez que, de acordo com resultados do laboratório do grupo, existe um elevado grau de compatibilidade entre os dois óleos de corte, nomeadamente o HNL e VRC, pelo que é conveniente ligar-se à central de retificação do que à de super-acabamento.

A Figura 4.7 e Figura 4.8 representam o traçado do retorno das névoas das três zonas de produção. O traçado a verde corresponde à tubagem existente, enquanto o traçado a vermelho representa o traçado direto para a cuba que vai ser desativado. O traçado a cinzento corresponde ao novo traçado a instalar, sendo que as névoas da zona central e novas células são direcionadas

para o tanque da retificação, enquanto que as névoas da zona da montagem são ligadas apenas à central EXXS.

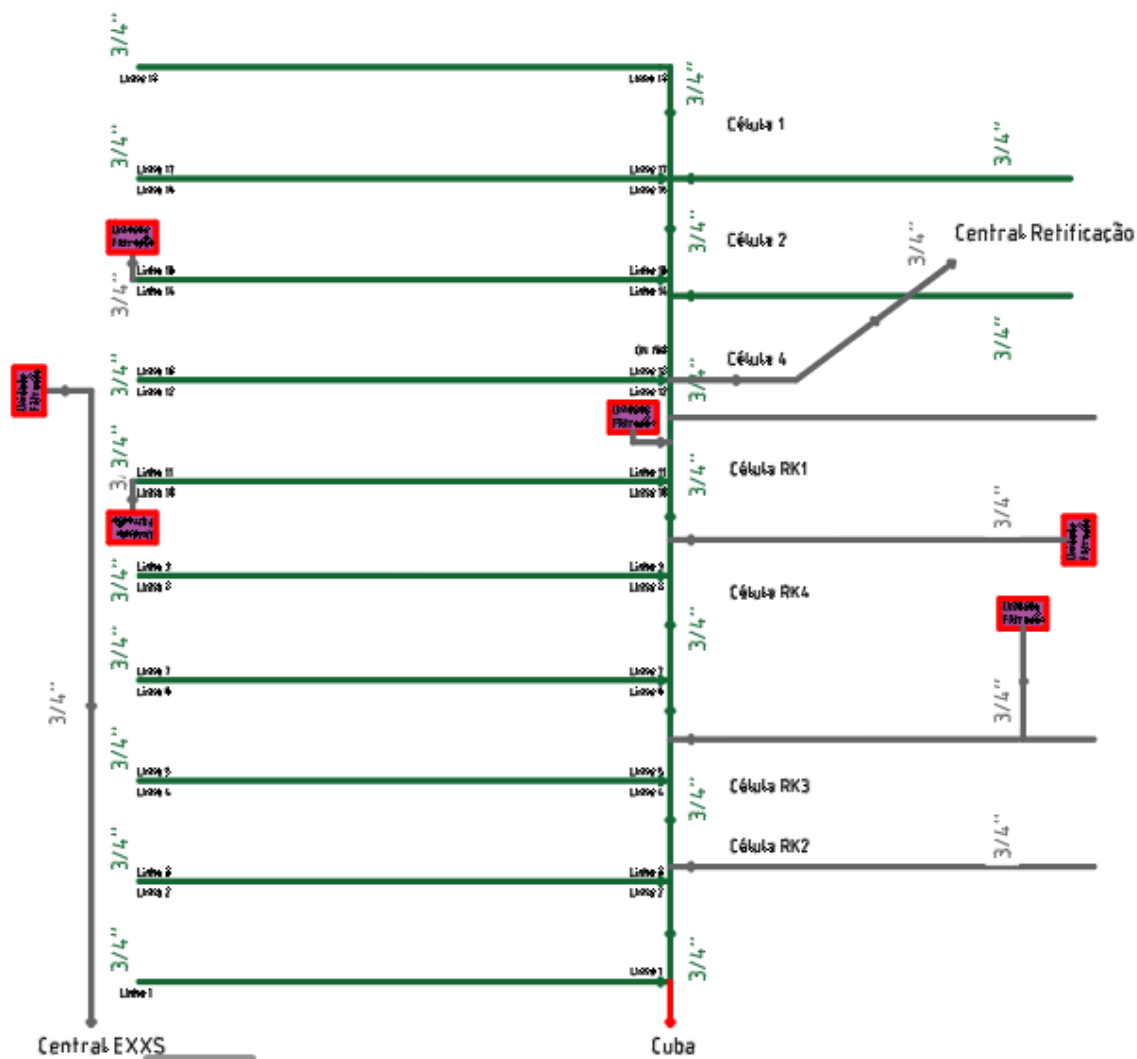


Figura 4.7- Esquema de todo o traçado do retorno das névoas das três zonas de operação

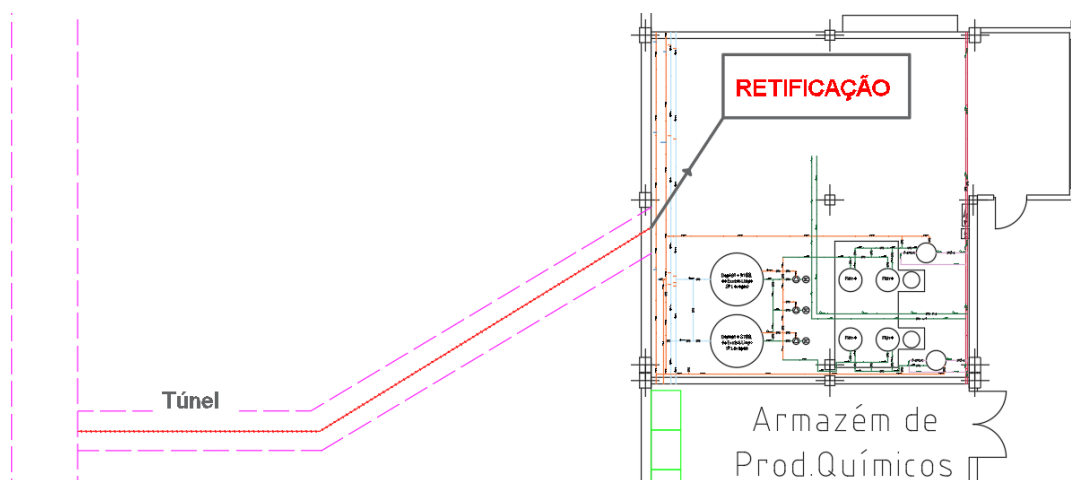


Figura 4.8- Traçado do circuito de retorno de névoas da zona central e células para o tanque sujo da central de retificação

4.4.3 Poupança Económica do Novo Sistema de Recolha de Névoas

Através do caudal total diário de exaustão para cada zona de operação, calculado no capítulo das soluções propostas, realizou-se uma estimativa de recuperação de condensados.

De acordo com o Capítulo 3, resume-se no Quadro 4.17 os caudais de cálculo e contribuição.

Quadro 4.17-Caudais de exaustão das unidades de filtração das três zonas de operação

Zonas de Operação	Linhas de exaustão	Caudal total (m³/h)			Peso de cada zona em função do caudal (%)
Montagem	Todas	8400	8400	119400	7.04
Central	Torre 1	7200	71600		59.97
	Torre 2	7200			
	Torre 3	8000			
	Torre 4	7600			
	Torre 5	7600			
	Unidade 1	18400			
	Unidade 2	15600			
Células	1/2/4/RK1	13600	39400		33.0
	RK1/RK4	11400			
	RK3/RK2	14400			

Com base nos dados apresentados, que representa o caudal total de extração das soluções propostas, é possível comparar o acréscimo de caudal para o atual sistema de exaustão e estimar o acréscimo de produção de condensados de névoas (Quadro 4.18).

Quadro 4.18-Estimativa da produção de condensados de névoas com o novo sistema de exaustão

Parâmetros	Dados	Incremento
Caudal do sistema atual (m³/h)	41432	288.18 % (=2.88 vezes mais)
Caudal do sistema novo (m³/h)	119400	
Volume atual produzido de névoas (m³/dia)	0.313	Assumindo o fator multiplicador de 2.88
Estimativa do volume produzido de névoas para o novo sistema (m³/dia)	0.902	

Deste modo, pode-se considerar que o novo sistema de exaustão proposto tem capacidade para produzir no mínimo 902 litros de névoas diárias, isto porque este valor foi calculado com base no funcionamento do atual sistema de exaustão. Ou seja, sabendo das deficiências do atual sistema de exaustão, identificadas no último parágrafo no ponto 4.4.1, percebe-se que de acordo com este projeto, na qual se prevê a instalação de novas condutas e acessórios e principalmente novas unidades com alta eficiência de filtração, consegue-se anular as fugas e garantir a exaustão de ar limpo para a atmosfera, garantindo deste modo o reaproveitamento de um maior volume de névoas.

Apesar deste fato, não é possível estimar exatamente o volume reaproveitado pelo novo sistema de exaustão enquanto este não for instalado, uma vez que não se consegue prever o volume

perdido pela retenção dos filtros e a respetiva periodicidade de lavagem, pelo que, para efeitos de cálculo, considera-se apenas o valor de 902 litros diários.

Assim, de acordo com a estimativa de produção de 902 litros/dia e em função da contribuição de cada zona (Quadro 4.17), é possível calcular a poupança económica associada ao reuso dos fluidos de cada zona de operação.

No Quadro 4.19, para as zonas com vários fluidos de trabalho, realizou-se uma média do preço unitário da mistura, de acordo com os preços individuais de cada produto.

Quadro 4.19-Custo poupado com o reaproveitamento dos fluidos das névoas de exaustão

Zona de Operação	Montagem	Central	Células
Produtos/fluidos	EXXS	VRC + HNL	EMS + VRC + HNL + EXXS
Preço médio unitário dos produtos (€/litro)	1.68	1.93	1.85
Produção estimada de condensados (litros/dia)	902		
Contribuição da produção de condensados (%)	7.04	59.97	33.0
Estimativa da produção de condensados (litros/dia)	63.50	540.93	297.66
Poupança diária associado ao reuso (€/dia)	106.68	1043.99	550.67
	1701.34		
Poupança mensal (€/mês)	52741.54		

Deste modo, pode-se concluir que se pode obter uma elevada poupança através da reutilização dos condensados de névoas, o que resultaria no prolongamento do tempo de encomenda de novos materiais (fluidos de limpeza e corte inteiro e solúveis). De referir que esta poupança apenas é válida através da implementação do novo projeto de exaustão que permite a separação das três zonas de operação para se poder reutilizar os fluidos de produção.

No Anexo 2, analisando o orçamento proposto para o novo projeto de exaustão (somatório do ponto 1 ao 4), verifica-se que seriam apenas necessários 8 meses e meio para se recuperar o investimento total, pelo que uma solução bastante sustentável e rentável.

Resumindo, através do novo projeto de exaustão, é possível reduzir bastante os custos de aquisição de óleos frescos através do reaproveitamento da condensação de névoas, algo que não era possível com o atual sistema de exaustão, uma vez que a rede de retorno não está preparada para tal além de que o fluido recuperado na cuba representa uma mistura de todos os óleos de corte. Este último fator é bastante pertinente, uma vez que a utilização de uma mistura de óleos de corte solúveis e inteiros e ainda de lavagem, numa específica zona de produção (principalmente no super-acabamento) resulta numa fraca produção que é chumbada pelo controlo de qualidade devido a anéis queimados, riscados e deformados.

5 CONCLUSÃO

Num ambiente fabril, como é o caso da Schaeffler Portugal, a qualidade do ar ambiente é extremamente importante para garantir as condições de trabalho adequadas, não sendo permitida a presença de vapores tóxicos que coloquem em causa a saúde das pessoas. No edifício 1 desta fábrica, o ar contaminado, no interior da nave, confirmou-se pela condensação das gotículas de óleo nas tubagens, escorrimentos e sensações de mau estar, o que permitiu de imediato suspeitar do mau funcionamento do atual sistema de exaustão de névoas.

Depois de analisar os dados do atual sistema de exaustão, definir as especificações técnicas e ainda as bases de cálculo, foi comprovado que este sistema já não é adequado para a atual exigência de exaustão das máquinas. Verificou-se a existência de condutas com dimensões inapropriadas que apresentam baixas velocidades de exaustão, troços com elevada perda de carga, tratamento único para todos os tipos de vapores e torres de exaustão com equipamentos insuficientes, nomeadamente filtros com baixa capacidade e ventiladores com motores elétricos de baixa potência e rendimento.

Deste modo, foi proposto para cada zona de operação sistemas independentes de exaustão, compostos por novas tubagens e acessórios e novas unidades de filtração, constituídas por filtros laváveis de alta capacidade e motores elétricos com maior potência e eficiência.

A monitorização e gestão do novo sistema de exaustão é realizada automaticamente, através de variadores de velocidade de frequência para os motores dos ventiladores e registos elétricos automáticos nas picagens das máquinas, para melhorar o funcionamento do sistema assim como aumentar a eficiência energética. Apesar do sistema de exaustão não apresentar um consumo intensivo de energia, relativamente ao consumo total elétrico do edifício 1, estes equipamentos permitem reduzir em 19% o consumo de energia associado à exaustão de névoas, pois elimina desperdícios energéticos através do ajuste o regime de funcionamento dos motores.

Graças ao conceito destes novos sistemas de exaustão, que separam fisicamente as três zonas de operação, é possível então implementar redes individuais de reaproveitamento dos condensados das névoas, que fazem a ligação do cárter das unidades autónomas de filtração até aos depósitos sujos das centrais dos fluidos. Esta medida permite reduzir altos desperdícios dos fluidos de corte e lavagem, utilizados nas máquinas de produção, reduzindo o consumo diário dos fluidos e consequentemente aumentando os seus períodos de reposição de stock, sendo possível recuperar o investimento total de todo o sistema de exaustão em quase 9 meses.

Em termos de expectativas futuras e consoante a disponibilidade financeira da empresa, propõem-se a médio prazo a anulação e remoção completa das atuais torres de exaustão, que foram consideradas recuperáveis nas soluções propostas, e respetiva substituição por unidades autónomas de filtração, assim como a instalação de analisadores automáticos de energia nos quadros elétricos que irão alimentar as novas unidades autónomas, para permitir a monitorização do consumo elétrico da exaustão das três zonas de operação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CMFG (2015). *Auditoria Energética para a Schaeffler Portugal, Unipessoal, Lda*. Marinha Grande.
- EDP. *Soluções de Eficiência PME*. SGCIE – Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia
- Filtac Air Solutions (2014). *Filtac Oil Mist Solutions*. Rev: 2014-09-25 EN
- Nederman. *Accessories Control Equipment – Fan Inverter Installation and Service*. 144837(01)
- Nederman (2012). *Catálogo de Produtos*
- Nederman (2013). *Sound Box for Combifab F Fans*. 150137 10
- Nederman (2016). *User Manual of Motor Damper Series 591*. 144057(01)
- Nederman (2017). *Efficiency powered to infinity – Nederman Filtac Oil Mist Filters For Continuous Operation*
- Nordfab. *QF Quick-Fit 2017 Price Catalogue*.
- Nordfab. *QFS Oil Mist & Cutting Fluid – Duct System Product Catalogue*. QF Sealed 15.1 English
- Sandometal (2008). *Unidades de Ventilação*
- Metec (2002). *Memória Descritiva do Projeto de Exaustão de Névoas Schaeffler Portugal*. Lisboa.
- https://energia.edp.pt/particulares/energia/gas-eletricidade/?edp=google-adwords-gas-eletricidade&gclid=EAIaIQobChMI2OLi2uGs1gIVDTwbCh3JsgaSEAAAYASAAEgLT_D_BwE
- <http://nordfab.eu/>
- <http://www.apren.pt/pt/dadostecnicos/index.php?id=206&cat=197>
- <http://www.adene.pt/programa/pnaer-2020-plano-nacional-de-acao-para-energias>
- <https://www.dewitventilatoren.nl/wp-content/uploads/2014/04/ART-indirect-gedreven-centrifugaal-ventilator-ferrari-DEWITventilatoren-catalogus.pdf>
- <http://www.nederman.com/>

<https://www.schaeffler.com/fork/>

ANEXOS

ANEXO I – PEÇAS DESENHADAS

Todos os dados, considerações, suposições e especificações consideradas para a realização tanto do presente estudo com do projeto, teve por base e referência as peças desenhadas que traduzem o atual sistema de exaustão do edifício 1 da fábrica e que propõem as soluções.

Neste capítulo faz-se uma referência às peças desenhadas inerentes à realização deste trabalho, incluindo:

- 1- Layout da nave do edifício 1 da fábrica com localização das máquinas
- 2- Layout do atual sistema de exaustão
- 3- Layout do novo sistema de exaustão
- 4- Layout do traçado da recuperação dos condensados do novo sistema de exaustão, ao nível do piso 0 da produção
- 5- Layout do traçado da recuperação dos condensados do novo sistema de exaustão, ao nível do piso -1 das centrais de abastecimento da produção

Estas peças desenhadas encontram-se nas próximas páginas, pela ordem considerada anteriormente.

ANEXO II – MEDIÇÕES E ORÇAMENTOS

Através das soluções propostas para o projeto de melhoramento do sistema de exaustão, e de acordo com as condições técnicas especiais, foi possível quantificar as quantidades e respetivos custos dos materiais e equipamentos necessários para implementar o novo sistema de exaustão.

Neste capítulo faz-se uma referência às medições e orçamentos divididos pelos seguintes pontos:

- 1- Sistema de exaustão da Montagem
- 2- Sistema de exaustão das Células
- 3- Sistema de exaustão da Zona Central
- 4- Sistema de recuperação dos óleos provenientes da condensação das névoas

O mapa de quantidades e custos destes pontos encontram-se nas próximas páginas, pela ordem considerada anteriormente.

Mapa de Quantidades e Custos					
Designação	Quantidades	Unidades	Custo unitário (€/unidades)	Custo total (€)	
1- ZONA DA MONTAGEM					
1.1 - Tubagens e Acessórios					
1.1.1- Tubagens QF Duct, aço galvanizado com soldadura a laser	DN 100	316,86	m	15,44	4891,60
	DN 150	145,65		20,37	2966,45
	DN 200	13,73		28,00	384,50
	DN 300	18,21		39,05	711,19
1.1.2- Blocos de derivação QFS Branch, em aço galvanizado, com derivação a 30°	LFQG100100100	32	und	93,52	2992,65
	LFQG150100100	6		101,81	610,85
	LFQG150150100	2		82,72	165,44
	LFQG200100100	2		105,79	211,58
1.1.3- Tês QFS T-Branch em aço galvanizado	LF22070-100100	6	und	94,98	569,90
	LF22070-100150	2		77,17	154,35
	LF22070-100200	1		62,71	62,71
	LF22070-150150	7		103,11	721,76
	LF22070-200200	4		107,41	429,66
	LF22070-150300	1		83,78	83,78
1.1.4- Cones de redução QFS Reducer em aço galvanizado	LFQR150100	5	und	42,41	212,07
	LFQR200150	4		43,47	173,88
	LFQR300200	2		58,99	117,98
1.1.5- Curvas a 90° QFS Pressed Bends em aço galvanizado	LF21919-100	51	und	41,84	2134,06
	LF21919-150	4		52,24	208,98
	LF21919-300	4		139,35	557,38
1.1.6- Curvas a 60° QFS Pressed Bends em aço galvanizado	LF21916-100	42	und	41,84	1757,46
1.1.7- Conjunto braçadeira aço galvanizado QFS Clip e junta de vedação Duct End Gasket	30205/30201-100	211	und	7,88	1664,86
	30205/30201-150	97		8,69	844,18
	30205/30201-200	9		9,43	86,27
	30205/30201-300	12		11,46	139,08
1.1.8- Cinta de suporte e respetivos pés de suporte, em aço galvanizado, 25x2,0mm, com parafusos e porcas de fixação, espaçados de 5 em 5 metros	DN 100	63	und	12,43	787,81
	DN 150	29		15,76	459,17
	DN 200	3		18,85	51,76
	DN 300	4		27,54	100,32
1.1.9- Terminal cego End Cap, em aço galvanizado	LF22012-100	23	und	12,03	276,58
1.1.10- Adaptador para mangueira QF 22013 Hose Adapter, em aço galvanizado	DN100	42	und	17,63	740,52
1.1.11- Mangueira Poliuretano, com hélice em aço, de espessura 0,7 mm	DN 100	21	m	20,26	425,45
1.1.12- Cinta para mangeira	DN 100	42	und	3,58	150,15

Designação		Quantidades	Unidades	Custo unitário (€/unidades)	Custo total (€)
1.1.13- Cintas de suporte com fixação ao teto, espaçados de 5 m	DN 150	5	und	8,04	40,22
	DN 200	3		8,04	22,52
	DN 300	2		8,04	19,31
1.2 - Unidade de Filtração					
1.2.1- Unidade Filtac Nederman OSF 3X3000, com capacidade 9000 m3/h, dois estágios filtrantes, manómetros e pernas/sapatas extensíveis incluídos	-	1	und	17985	17985
1.3 - Ventilador de Exaustão					
1.3.1- Ventilador Combifab F40-R355 D04-8 kW	-	1	und	3650	3650
1.3.2- Variador de frequência Nederman 8 kW	-	1	und	2881	2881
1.3.3- Interruptor geral/manutenção	-	2	und	185	370
1.3.4- Caixa de insonorização, tipo/tamanho 3, em chapa de aço galvanizada, com porta de acesso, e entrada e saída das condutas	-	1	und	2800	2800
1.3.5- Registos automáticos elétricos MDA 125, com caixa de controlo 220V, composta por transformador, temporizador para o ventilador 0-5 minutos, circuito piloto 24V que pode receber sinal das máquinas de modo a permitir o fecho/abertura destes assim como o arranque/paragem automático do ventilador	-	42	und	325	13650
Total					67262,40
2- ZONA DAS CÉLULAS					
2.1 - Tubagens e Acessórios					
2.1.1- Tubagens QF Duct, aço galvanizado com soldadura a laser	DN 75/80	2	m	23,16	46,31
	DN 100	10,14		12,54	127,19
	DN 150	7,6		16,55	125,77
	DN 200	14,89		22,75	338,81
	DN 250	22,34		32,61	728,48
	DN 300	15,79		31,73	501,06
	DN 350	27,7		50,32	1393,91
	DN 450	11,47		71,99	825,71
	DN 500	13,74		86,40	1187,10

Designação		Quantidades	Unidades	Custo unitário (€/unidades)	Custo total (€)
2.1.2- Blocos de derivação QFS Branch, em aço galvanizado, com derivação a 30°	LFQG100100100	3	und	75,99	227,96
	LFQG150150150	2		101,81	203,62
	LFQG200200150	5		105,79	528,95
	LFQG250150150	1		118,14	118,14
	LFQG250200150	3		95,99	287,97
	LFQG250250100	4		77,99	311,97
	LFQG250250150	2		63,37	126,74
	LFQG300200150	1		131,30	131,30
	LFQG300250150	3		106,68	320,05
	LFQG300300150	3		86,68	260,05
	LFQG350300150	2		154,05	308,10
	LFQG350350100	4		125,17	500,68
	LFQG350350150	4		101,70	406,81
	LFQG450350150	1		192,89	192,89
	LFQG450450150	2		156,73	313,45
	LFQG450450200	1		127,34	127,34
2.1.3- Blocos de derivação duplo QFS Double Branch em aço galvanizado	LFQT250150250150	1	und	151,45	151,45
	LFQT250150150150	1		123,06	123,06
	LFQT350150300150	1		209,30	209,30
2.1.4- Tês QFS T-Branch em aço galvanizado	LF22070-080080	1	und	94,98	94,98
	LF22070-200200	1		87,28	87,28
	LF22070-250350	1		119,68	119,68
	LF22070-350350	1		156,25	156,25
	LF22070-500500	1		235,47	235,47
2.1.5- Cones de redução QFS Reducer em aço galvanizado	LFQR150100	1	und	34,46	34,46
	LFQR200080	1		35,32	35,32
	LFQR200100	1		28,70	28,70
	LFQR500250	1		107,50	107,50
	LFQR500350	2		87,34	174,68
2.1.6- Curvas a 90° QFS Pressed Bends em aço galvanizado	LF21919-080	1	und	33,96	33,96
	LF21919-100	11		34,00	373,99
	LF21919-150	37		42,45	1570,63
	LF21919-350	2		147,96	295,92
	LF21919-450	2		213,53	427,06
	LF21919-500	4		249,12	996,47
2.1.7- Curvas a 60° QFS Pressed Bends em aço galvanizado	LF21916-100	11	und	34,00	373,99
	LF21916-150	37		55,90	2068,33

Designação		Quantidades	Unidades	Custo unitário (€/unidades)	Custo total (€)
2.1.8- Conjunto braçadeira aço galvanizado QFS Clip e junta de vedação Duct End Gasket	30205/30201-080	1	und	7,31	9,75
	30205/30201-100	7		6,40	43,29
	30205/30201-150	5		7,06	35,79
	30205/30201-200	10		7,66	76,02
	30205/30201-250	15		10,64	158,52
	30205/30201-300	11		9,31	97,99
	30205/30201-350	18		12,51	231,07
	30205/30201-450	8		14,38	109,97
	30205/30201-500	9		14,95	136,94
2.1.9- Cinta de suporte e respetivos pés de suporte, em aço galvanizado, 25x2,0mm, com parafusos e porcas de fixação, espaçados de 5 em 5 metros	DN 80	1	und	12,43	12,43
	DN 100	2		10,10	20,48
	DN 150	2		12,81	19,47
	DN 200	3		15,32	45,61
	DN 250	4		24,78	110,72
	DN 300	3		22,38	70,68
	DN 350	6		31,36	173,75
	DN 450	2		43,06	98,79
	DN 500	3		47,37	130,17
2.1.10- Terminal cego End Cap, em aço galvanizado	LF22012-100	2	und	9,77	19,54
	LF22012-150	1		14,63	14,63
	LF22012-200	3		17,47	52,41
2.1.11- Adaptador para mangueira QF 22013 Hose Adapter, em aço galvanizado	DN100	11	und	14,33	157,58
	DN150	37		23,08	853,79
2.1.12- Mangueira Poliuretano, com hélice em aço, de espessura 0,7 mm	DN 100	5,5	m	16,46	90,54
	DN 150	18,5		32,79	606,59
2.1.13- Cinta para mangeira	DN 100	11	und	2,90	31,95
	DN 150	37		4,47	165,35
2.1.14- Cintas de suporte com fixação ao teto, espaçados de 5 m	DN 350	3	und	8,04	25,74
	DN 500	4		9,67	34,81
2.2 - Unidades de Filtração					
2.2.1- Unidade Filtac Nederman OMF 4X4000, com capacidade 16000 m3/h, dois estágios filtrantes, manómetros e pernas/sapatas extensíveis incluídos	-	2	und	31974	63948
2.2.2- Unidade Filtac Nederman OMF 3X4000, com capacidade 12000 m3/h, dois estágios filtrantes, manómetros e pernas/sapatas extensíveis incluídos	-	1		23980,5	23980,5

Designação		Quantidades	Unidades	Custo unitário (€/unidades)	Custo total (€)
2.3 - Ventiladores de Exaustão					
2.3.1- Ventilador Combifab F56-R500 D04-10 kW	-	1	und	4457	4457
2.3.2- Ventilador Combifab F40-R400 D04-7,5 kW	-	1		3958	3958
2.3.3- Ventilador Combifab F40-R450 D04-12.5 kW	-	1		4957	4957
2.3.4- Variador de frequência Nederman 10 kW	-	1		3096	3096
2.3.5- Variador de frequência Nederman 7,5 kW	-	1		2756	2756
2.3.6- Variador de frequência Nederman 12,5 kW	-	1		3495	3495
2.3.7- Interruptor geral/manutenção	-	6		185	1110
2.3.8- Caixa de insonorização, tipo/tamanho 3, em chapa de aço galvanizada, com porta de acesso, e entrada e saída das condutas	-	2		2800	5600
2.3.9- Caixa de insonorização, tipo/tamanho 4, em chapa de aço galvanizada, com porta de acesso, e entrada e saída das condutas	-	1		3000	3000
2.3.10- Registos automáticos elétricos MDA 125, com caixa de controlo 220V, composta por transformador, temporizador para o ventilador 0-5 minutos, circuito piloto 24V que pode receber sinal das máquinas de modo a a permitir o fecho/abertura destes assim como o arranque/paragem automático do ventilador	-	11		325	3575
2.3.11- Registos automáticos elétricos MDA 160, com caixa de controlo 220V, composta por transformador, temporizador para o ventilador 0-5 minutos, circuito piloto 24V que pode receber sinal das máquinas de modo a a permitir o fecho/abertura destes assim como o arranque/paragem automático do ventilador	-	37		366	13542
Total					158447,68

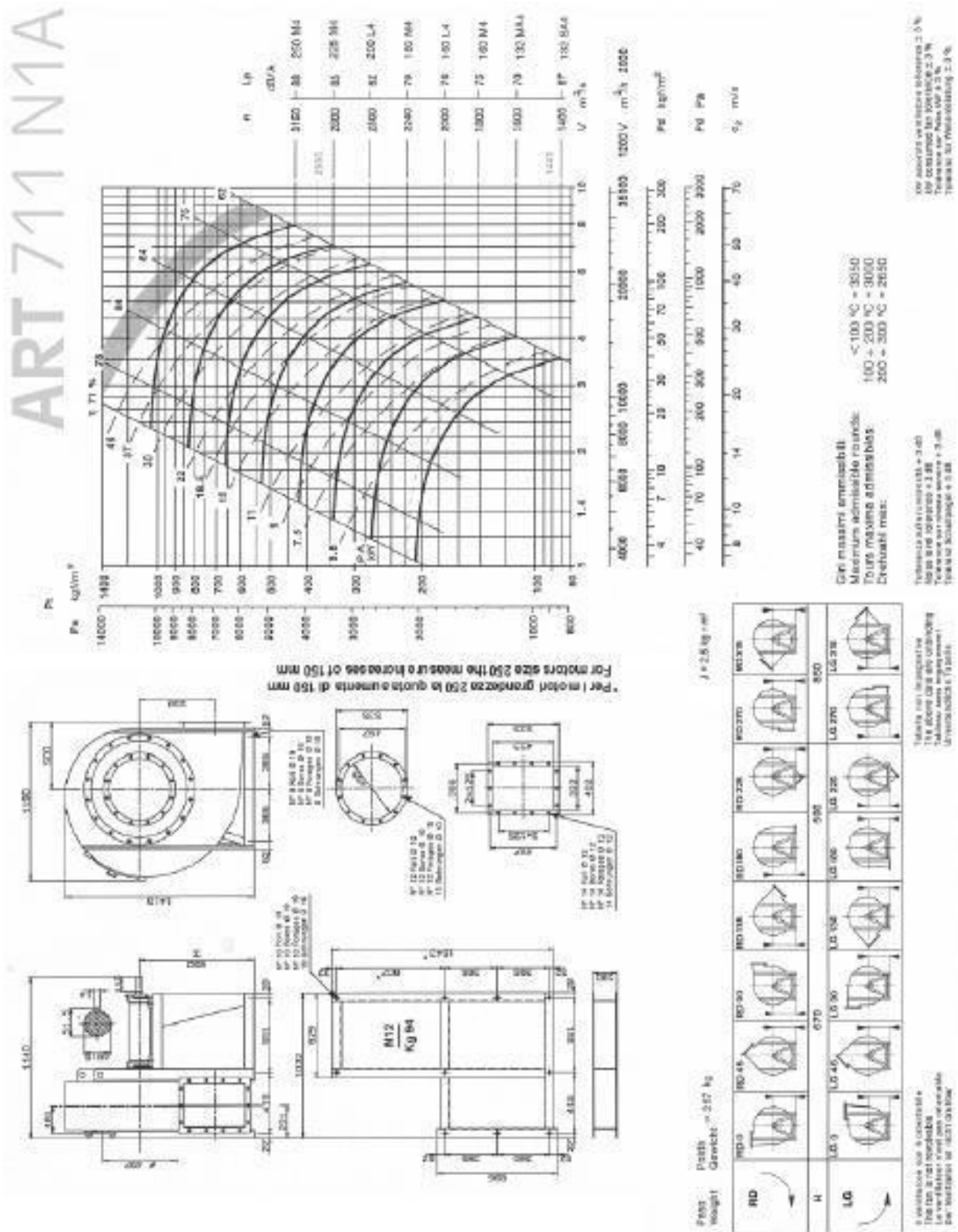
Designação	Quantidades	Unidades	Custo unitário (€/unidades)	Custo total (€)
3- ZONA CENTRAL				
3.1 - Tubagens e Acessórios				
3.1.1- Tubagens QF Duct, aço galvanizado com soldadura a laser	DN 150	84,02	13,45	1129,72
	DN 200	76,44	18,49	1413,22
	DN 250	40,65	26,50	1077,03
	DN 300	43,79	25,78	1129,04
	DN 350	15,23	40,89	622,71
	DN 400	6,49	65,32602076	423,97
	DN 500	33,67	70,20	2363,59
	300 x 200	58,54	141,4747106	8281,93
3.1.2- Blocos de derivação QFS Branch, em aço galvanizado, com derivação a 30°	LFQG150150150	39	82,72	3226,09
	LFQG200150150	17	85,96	1461,24
	LFQG200200150	16	69,84	1117,43
	LFQG250150150	1	95,99	95,99
	LFQG250200150	7	77,99	545,95
	LFQG250250150	8	63,37	506,96
	LFQG300150150	1	106,68	106,68
	LFQG300200150	1	86,68	86,68
	LFQG300250150	6	70,43	422,58
	LFQG300300150	6	57,23	343,36
	LFQG350250150	2	125,17	250,34
	LFQG350300150	6	101,70	610,21
	LFQG350350150	4	82,63	330,54
	LFQG400250150	1	177,29	177,29
	LFQG400400150	2	144,05	288,10
3.1.3- Blocos de derivação duplo QFS Double Branch em aço galvanizado	LFQT350150250150	1	170,06	170,06
	LFQT350150350150	1	138,18	138,18
	LFQT200150150150	1	141,38	141,38
	LFQT200150200150	1	114,87	114,87
	LFQT250150250150	1	123,06	123,06
	LFQT250150200150	1	99,99	99,99
	LFQT300150300150	3	173,80	521,39
	LFQT300150200150	4	141,21	564,85
	LFQT300150250150	1	114,74	114,74
	LFQT350150300150	2	170,06	340,12
	LFQT350150350150	1	138,18	138,18
	LFQT400150250150	1	258,70	258,70
	LFQT400150300150	1	210,20	210,20
	LFQT400150350150	1	170,79	170,79
3.1.4- Tês QFS T-Branch em aço galvanizado	LF22070-200200	2	70,91	141,82
	LF22070-500500	2	191,32	382,64
	600 x 300	2	313,8167786	627,63

Designação		Quantidades	Unidades	Custo unitário (€/unidades)	Custo total (€)
3.1.5- Cones de redução retangular-cicular em aço galvanizado	LF22035-200	2	und	28,70	57,40
	LF22035-500	2		87,34	174,68
3.1.6- Curvas a 90° QFS Pressed Bends em aço galvanizado	LF21919-150	175	und	34,49	6035,86
	LF21919-500	2		202,41	404,82
	300 x 200	6		323,9813124	1943,89
3.1.7- Curvas a 60° QFS Pressed Bends em aço galvanizado	LF21916-100	0	und	27,62	0,00
	LF21916-150	161		45,42	7312,65
3.1.8- Conjunto braçadeira aço galvanizado QFS Clip e junta de vedação Duct End Gasket	30205/30201-150	56	und	5,74	321,49
	30205/30201-200	51		6,22	317,09
	30205/30201-250	27		8,65	234,37
	30205/30201-300	29		7,56	220,80
	30205/30201-350	10		10,17	103,23
	30205/30201-400	4		13,81	59,76
	30205/30201-500	22		12,15	272,67
3.1.9- Cinta de suporte e respetivos pés de suporte, em aço galvanizado, 25x2,0mm, com parafusos e porcas de fixação, espaçados de 5 em 5 metros	DN 150	17	und	10,41	174,87
	DN 200	15		12,44	190,25
	DN 250	8		20,14	163,70
	DN 300	9		18,18	159,26
	DN 350	3		25,48	77,62
	DN 400	1		40,71	52,84
	DN 500	7		38,49	259,18
3.1.10- Terminal cego End Cap, em aço galvanizado	LF22012-150	20	und	11,88	237,66
3.1.11- Adaptador para mangueira QF 22013 Hose Adapter, em aço galvanizado	DN150	168	und	18,75	3149,84
3.1.12- Mangueira Poliuretano, com hélice em aço, de espessura 0,7 mm	DN 150	84	m	26,64	2237,84
3.1.13- Cinta para mangueira	DN 150	168	und	3,63	610,00
3.1.14- Cintas de suporte com fixação ao teto, espaçados de 5 m	DN 500	8	und	7,86	62,85
3.2 - Unidades de Filtração					
3.2.1- Unidade Filtac Nederman OSF 5X3500, com capacidade 20000 m3/h, dois estágios filtrantes, manómetros e pernas/sapatas extensíveis incluídos	-	1	und	39967,5	39967,5
3.2.2- Unidade Filtac Nederman OSF 4X3500, com capacidade 16000 m3/h, dois estágios filtrantes, manómetros e pernas/sapatas extensíveis incluídos	-	1		31974	31974

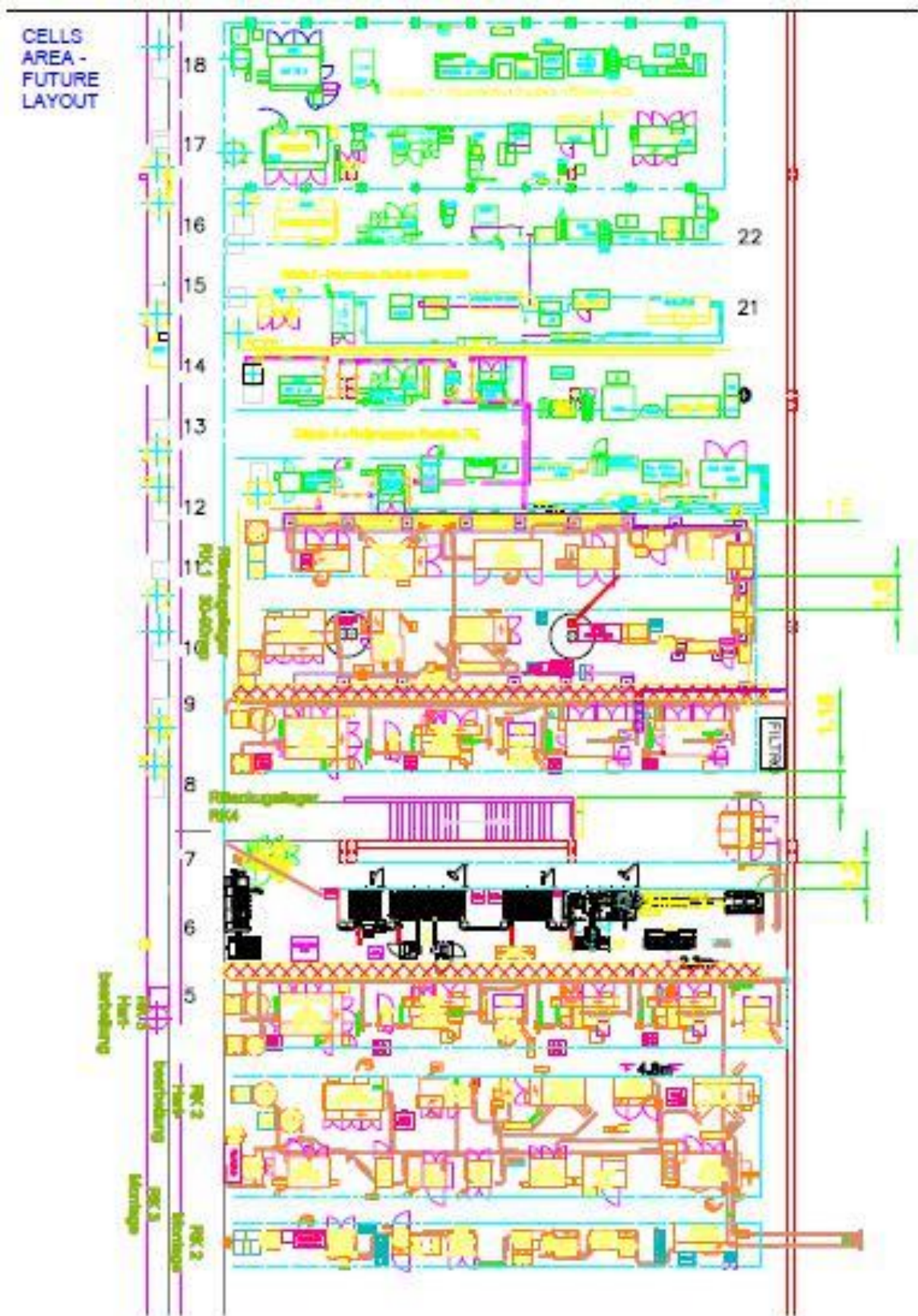
Designação		Quantidades	Unidades	Custo unitário (€/unidades)	Custo total (€)
3.3 - Ventiladores de Exaustão					
3.3.1- Ventilador Combifab F56-R560 D04-14,15 kW	-	1	und	5350	5350
3.3.2- Ventilador Combifab F40-R560 D04-12 kW	-	1		4827	4827
3.3.3- Variador de frequência Nederman 14,15 kW	-	1		3474	3474
3.3.4- Variador de frequência Nederman 12 kW	-	1		3398	3398
3.3.5- Interruptor geral/manutenção	-	4		185	740
3.3.6- Caixa de insonorização, tipo/tamanho 3, em chapa de aço galvanizada, com porta de acesso, e entrada e saída das condutas	-	1		2800	2800
3.3.7- Caixa de insonorização, tipo/tamanho 6, em chapa de aço galvanizada, com porta de acesso, e entrada e saída das condutas	-	1		3500	3500
3.3.8- Registos automáticos elétricos MDA 160, com caixa de controlo 220V, composta por transformador, temporizador para o ventilador 0-5 minutos, circuito piloto 24V que pode receber sinal das máquinas de modo a a permitir o fecho/abertura destes assim como o arranque/paragem automático do ventilador	-	161		366	58926
Total					210060,34
4- RECUPERAÇÃO DE NÉVOAS					
4.1 - Tubagens e Acessórios					
4.1.1- Tubo em aço galvanizado 3/4" flangeado	-	207	m	24,27	5023,28
4.1.2- Braçadeiras em aço galvanizado	-	41,4	und	6,26	259,01
4.1.3- Válvulas macho esférico 3/4" em aço galvanizado	-	7		2,84	19,91
4.1.4- Tês 3/4" em aço galvanizado	-	9		2,03	18,28
4.2 - Montagem	-	1		2000,00	2000,00
Total					7320,48

O valor total deste mapa de quantidades e custos é aproximadamente 443091 €.

ANEXO III – CURVA CARATERÍSTICA VENTILADOR FERRARI ART 711/4



ANEXO IV – IMPLEMENTAÇÃO DAS NOVAS CÉLULAS NA ÁREA DAS CÉLULAS



ANEXO V – CAPA DO PROJETO INICIAL COM DADOS TÉCNICOS

ROL - ROLAMENTOS PORTUGUESES, S.A.
UMA EMPRESA DO GRUPO FAG

Apartado 64
P-2504-909 Caldas da Rainha
Portugal

GERAL:
Tel.: +351/262/8370-00 - Fax: +351/262/8370-11

COMPRAS/PURCHASE:
Tel.: +351/262/8370-09 - Fax: +351/262/8370-14

VENDAS/SALES:
Tel.: +351/262/8370-31 - Fax: +351/262/8370-11

PARA / AN / TO
METEC – Mecano Técnica, Lda.

DE / VON / FROM
ROL – A. REALINHO

Folha / Blatt / Sheet
1-3

V/PROPOSTAS N.ºs. 441/EC/02-AC de 19.06.02
531/EC/02-AC de 23.07.02
548/EC/02-AC de 25.07.02
450/EC/02-AC de 26.07.02

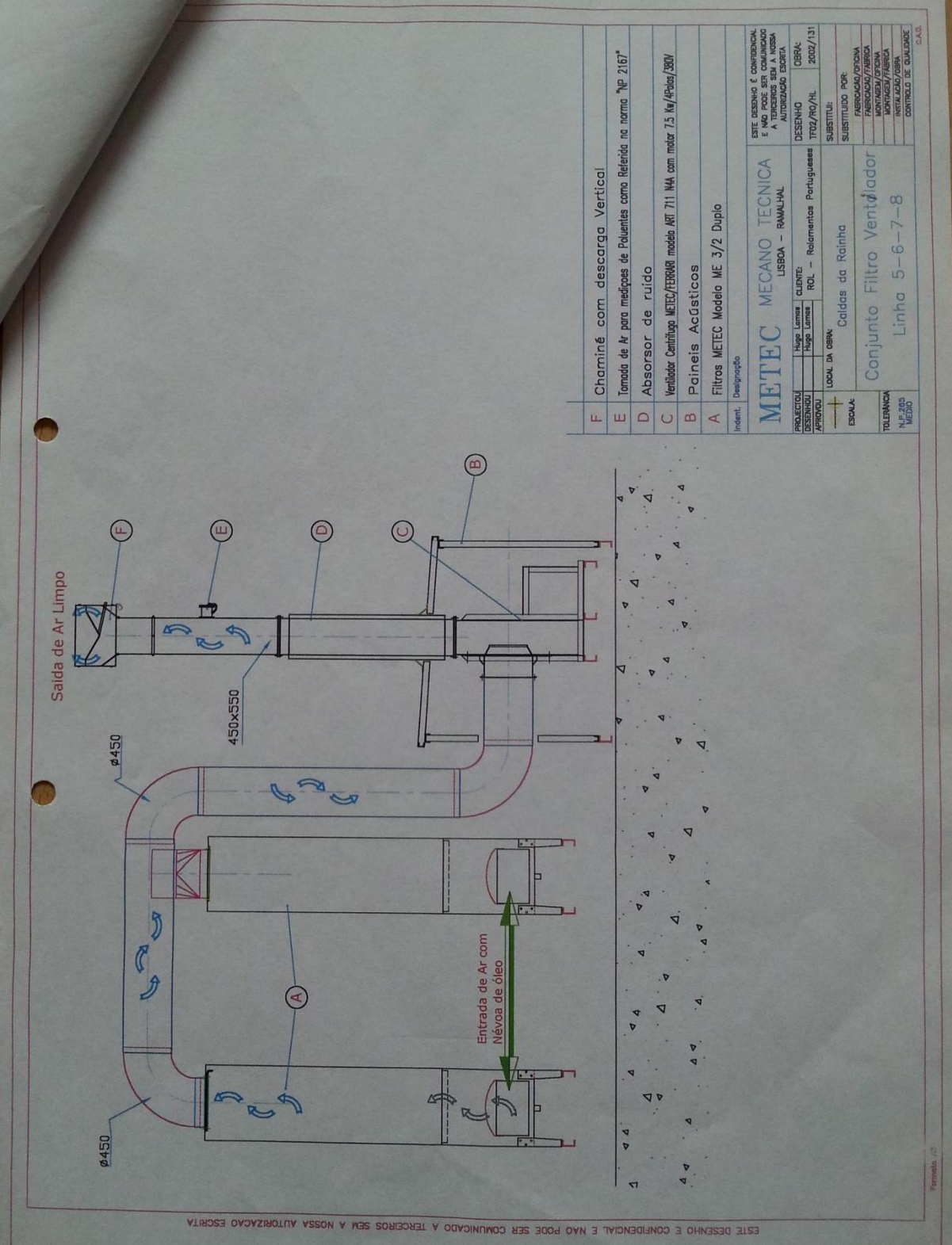
MEMÓRIA DESCRITIVA REF. ÀS O.C. 45017063 E 45017064

CONDIÇÕES DE FORNECIMENTO

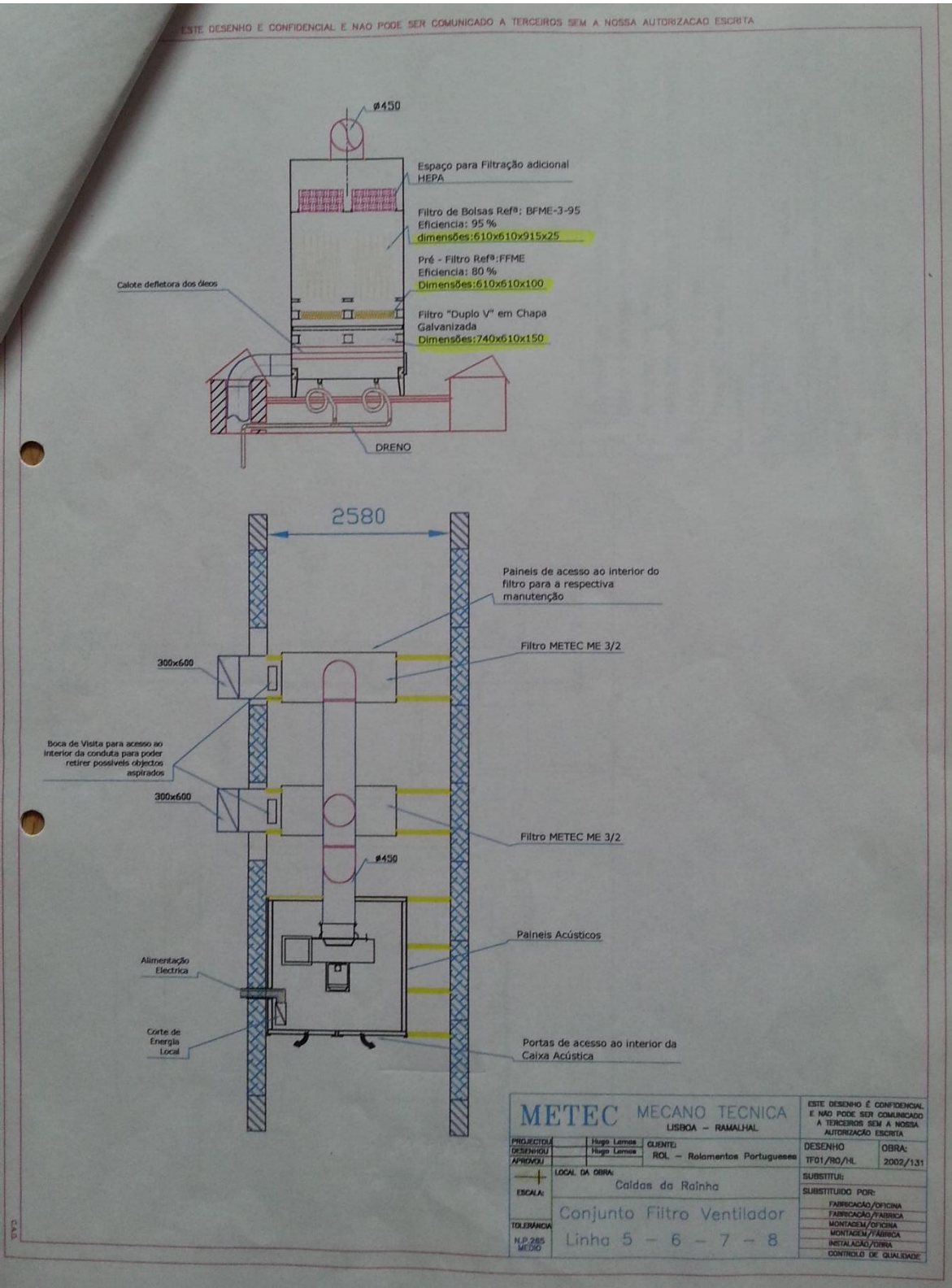
Fornecimento e montagem de equipamento para a exaustão das névoas de óleo das máquinas de rectificar (emulsão) e super-acabamento (óleo) das linhas 5, 6, 7 e 8 de acordo com as propostas acima indicadas e o seguinte:

- O equipamento destina-se às máquinas na disposição conforme o cróqui fornecido em 24.07.02.
- O equipamento é composto pelo seguinte:
 1. Um (1) Filtro Eliminador de Névoa de Óleo, Marca MeTec, Modelo ME 3/4, com capacidade para 8.500 m³/h, de 1400 X 1300 X 2830mm. Os elementos filtrantes são iguais ao filtro anterior mas em maior quantidade.
 2. Um (1) Ventilador Centrífugo, Marca MeTec/Ferrari, Modelo ART 711 N4A, com motor 7,5kw/1500rpm/380V.
 - Caudal: 8.500m³/h;
 - Pressão: 170mmc.a.
 3. Cerca de Cento e Dez (110) mts. Conduta galvanizada, calandrada, interiormente lisa.
 4. Cerca de Vinte e Quatro (24) mts. Tubo Flexível, resistente ao óleo, transparente.
 5. Atenuador de som, a colocar na descarga do ventilador, a fim de diminuir o ruído na saída, para os valores aproximados de acordo com legislação ambiental.
 6. Pintura das condutas e restante equipamento, com esmalte epoxy, na nossa cor RAL 1015.
 7. Quadro eléctrico, para arranque e protecção do motor do ventilador.

ANEXO VI – ESQUEMA DAS TORRES DO ATUAL SISTEMA DE EXAUSTÃO

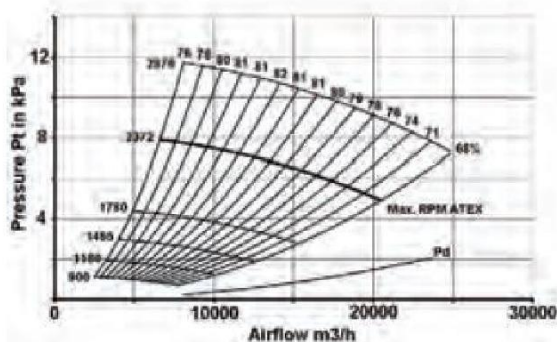


ANEXO VII – ESQUEMA DAS COLUNAS FILTRANTES

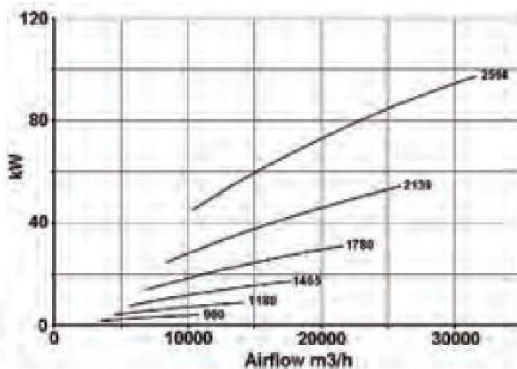
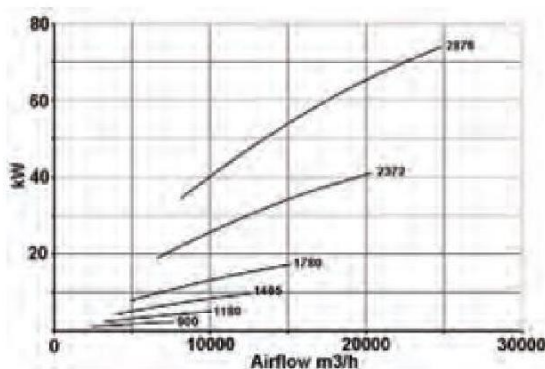
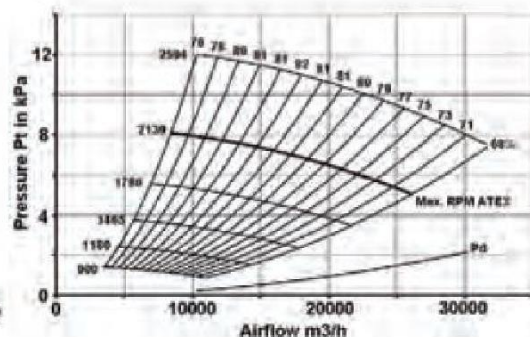


ANEXO VIII – CURVAS CARACTERÍSTICAS VENTILADOR NEDERMAN COMBIFAB F40-R355/R400/R450/R560 E F56-R500/R560

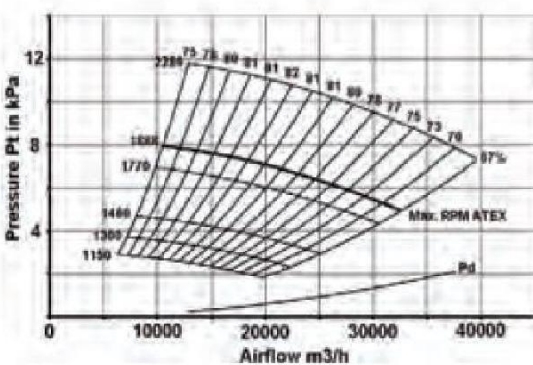
F40-R355



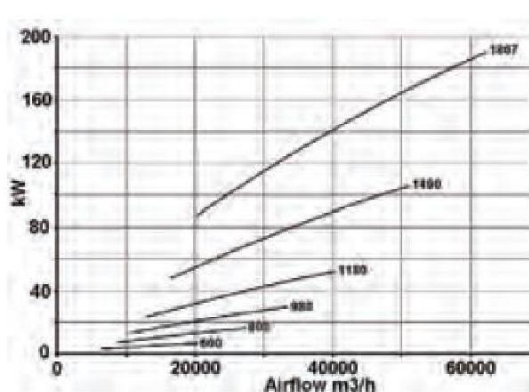
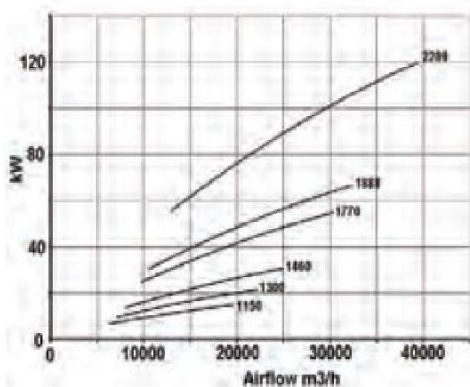
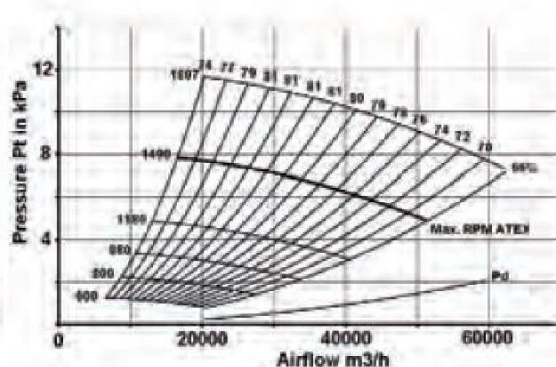
F40-R400



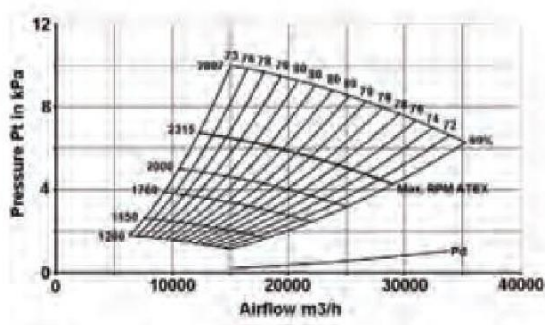
F40-R450



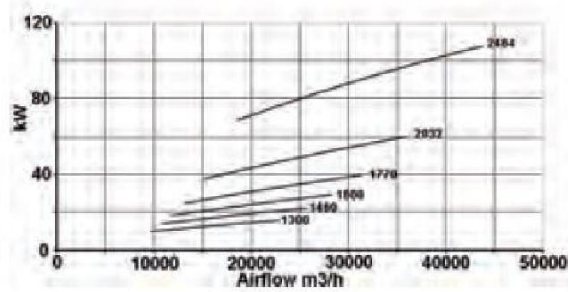
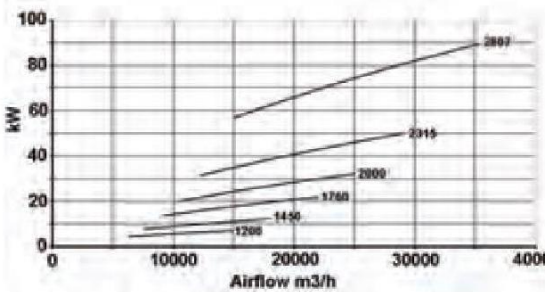
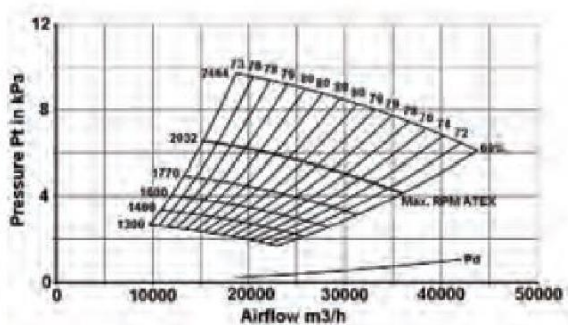
F40-R560



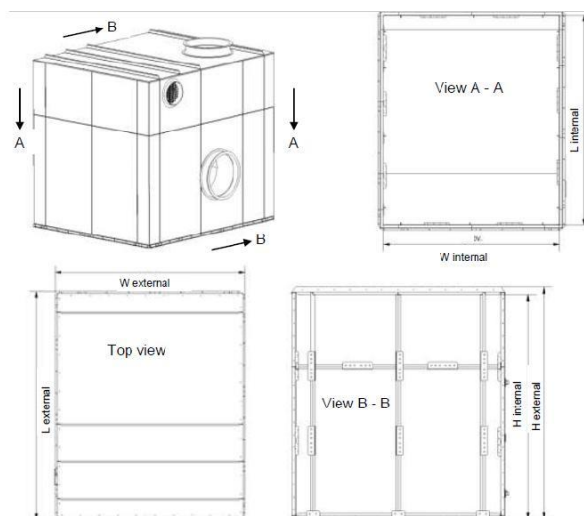
F56-R500



F56-R560



ANEXO IX – TABELAS DAS CAIXAS DE INSONORIZAÇÃO COMBIFAB



Fan type	R-S-T	R-S-T	R-S-T	R-S-T	R-S-T	R-S-T	R-S-T	R-S-T	R-S-T	R-S-T
Inlet diameter	F40	F56	F40	F56	F63	F71	F40	F56	F63	F71
	BV14	BV14	D05/04	D05/04	D05/04	D05/04	BW09	BW09	BW09	BW09
160			1							
180			1							
200			1							
224			1	1						
250	2		1	1						
280	2		1	1						
315	2		1	1						
355	3		3	2						
400	3		3	2						
450	4		4	2						
500		3	5	3			6			
560		3	6	3			6			
630		5	6	5			6	6		
710				5				6		
800				6				7		
900				6	6	7		7	7	7
1000					7	7			9	9
1120						7				9
1250										9
1400										9

Article no.	Type	W ext. [mm]	L ext. [mm]	H ext.# [mm]	W int. [mm]	L int. [mm]	H int.# [mm]	Weight [Kg]
30001.401	1	1250	1250	1525	1130	1130	1440	210
30001.402	2	1250	1650	1525	1130	1530	1440	250
30001.403	3	2050	1650	1885	1930	1530	1800	410
30001.404	4	2050	2050	1885	1930	1930	1800	450
30001.405	5	2050	2450	2245	1930	2330	2160	580
30001.406	6	2050	2850	2965	1930	2730	2880	720
30001.407	7	2450	3250	2965	2330	3130	2880	920
30001.408	8	2450	3650	3325	2330	3530	3240	1040
30001.409	9	3050	4450	3685	2930	4330	3600	1300

Article no.	Description	Duct diameter Ø (mm)	Internal diameter Ø (mm)	External diameter Ø (mm)
30001.0160	Cover ø 160	160	140	295
30001.0180	Cover ø 180	180	140	295
30001.0200	Cover ø 200	200	164	295
30001.0224	Cover ø 224	224	190	340
30001.0250	Cover ø 250	250	220	390
30001.0280	Cover ø 280	280	255	390
30001.0315	Cover ø 315	315	295	440
30001.0355	Cover ø 355	355	295	440
30001.0400	Cover ø 400	400	340	500
30001.0450	Cover ø 450	450	390	570
30001.0500	Cover ø 500	500	440	570
30001.0560	Cover ø 560	560	500	650
30001.0630	Cover ø 630	630	570	740
30001.0710	Cover ø 710	710	650	840
30001.0800	Cover ø 800	800	740	940
30001.0900	Cover ø 900	900	840	1000
30001.1000	Cover ø 1000	1000	940	1100